

Hochschule Mittweida (HSMW)
Mittweida

MASTERARBEIT

Hertel, Hendrik:

Simulation eines Energie- und Lastmanagements mit SIEMENS
SIMATIC PCS 7 powerrate

2013

Simulation eines Energie- und Lastmanagements mit SIEMENS
SIMATIC PCS 7 powerrate

MASTERARBEIT

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Elektro- und Informationstechnik

eingereicht von Hendrik Hertel

Erstbetreuer: Prof. Dr.-Ing. S. Schmeißer

Zweitbetreuer: Prof. Dr.-Ing. D. Römer

Mittweida/Chemnitz den 20. Dezember 2013

Simulation of an Energy and Load Management System with
SIEMENS SIMATIC PCS 7 powerrate

MASTER-THESIS

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Faculty of Electrical Engineering and Information Technology

Submitted by Hendrik Hertel

First Examiner: Prof. Dr.-Ing. S. Schmeißer

Second Examiner: Prof. Dr.-Ing. D. Römer

Mittweida/Chemnitz, December 20th, 2013

Bibliographisches Kurzreferat

Hertel, Hendrik:

Simulation eines Energie- und Lastmanagements mit SIEMENS SIMATIC PCS 7 powerrate - 2013. - 13, 95, 52 Seiten, Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Elektro- und Informationstechnik, Masterarbeit, 2013

Referat:

Mittels Erprobung des Lastmanagements für PCS 7 und der Simatic S7 in verschiedenen Simulationen sollen mögliche Konzepten und Szenarien für den Einsatz und die Nutzbarkeit eines solchen automatisierten Systems für das Monitoring, die Prozessplanung und das aktive Lastmanagement in einer elektrotechnischen Anlage ermittelt und veranschaulicht werden. Die Simulationen sollen die Möglichkeiten überprüfen, die ein solches Lastmanagement-System aus dem Prozessleitsystems Siemens PCS 7 in Verbindung mit der Bibliothek powerrate und mit der Visualisierung WinCC für die Umsetzung bietet.

Danksagung

Mein Dank gilt im Besonderen meinem Betreuer Prof. Dr.-Ing. Swen Schmeißer, Prof. Dr.-Ing. Dietmar Römer und Dipl.-Ing. Frank Finsterbusch, M.Sc., die mir immer mit Rat und Tat zur Seite standen. Außerdem gilt mein Dank Dipl.-Ing. Manfred Eberth, M.Sc. ohne deren zuvorkommende und unkomplizierte Mithilfe eine Durchführung der Arbeit nicht so schnell möglich gewesen wäre. Des Weiteren bedanke bei allen Mitarbeitern der Hochschule die mir bei der Realisierung dieser Arbeit geholfen haben.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	VI
Anlagenverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis	XII
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1 Einführung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	4
1.3 Gliederung	4
2 Stand der Technik	7
2.1 Lastmanagement im Allgemeinen	7
2.2 Lastmanagement mittels Überwachung	9
2.3 Lastmanagement mittels Automatisierung	9
2.4 Bewertung der verfügbaren Systeme	10
3 Technische Basis der Simulation	12
3.1 SIMATIC PC-Station	12
3.2 SPS SIMATIC S7-400	13
3.3 Messgerät SENTRON PAC3200	14
3.4 Profibus-Feldgerät ET 200S	15
3.5 Industrial Ethernet	19
3.6 Feldbus Profibus DP	20
3.7 Verbraucher in der Simulation	21
4 Lastmanagement PCS 7 powerrate	22
4.1 Bausteine in PCS 7 powerrate	22
4.1.1 Baustein PRE_SYNC	23
4.1.2 Baustein PRE_SUM	24
4.1.3 Baustein PRE_FIFO-DATA	27
4.1.4 Baustein PRE_AR_DATA	28

Inhaltsverzeichnis

4.1.5	Baustein PRE_LMGM	29
4.2	Visualisierung mit WinCC	31
4.3	Bedienung der Bausteine	32
4.3.1	Baustein PRE_SUM	32
4.3.2	Baustein PRE_LMGM	36
5	Umfang der Simulationen	46
5.1	Definition der Simulationen	46
5.2	Verbraucherauswahl	47
5.3	Simulation Laststeuerung	49
5.3.1	Konzeption der Simulation	49
5.3.2	Verbrauchergruppen	50
5.4	Simulation Anlaufsteuerung	52
5.4.1	Konzeption der Simulation	52
5.4.2	Verbrauchergruppen	53
6	Programmierung in STEP 7	54
6.1	Funktionsbaustein FB150	55
6.2	Modellierung Laststeuerung	56
6.2.1	Logikbausteine	57
6.2.2	Divisionsbaustein	57
6.2.3	Wandlerbaustein	58
6.2.4	Addierbausteine	58
6.2.5	Timerbaustein	60
6.2.6	Modellierung der Widerstände	60
6.2.7	Beschaltung der Widerstände	61
6.3	Modellierung Anlaufsteuerung	61
6.3.1	Differenzbaustein	62
6.3.2	Komparatorbaustein	62
6.3.3	Modellierung der Widerstände	63
6.3.4	Beschaltung der Widerstände	63
6.4	Bedienung der Simulation	63
6.5	Mensch-Maschine-Interface	64
6.5.1	Status Lastmanagement	64

Inhaltsverzeichnis

6.5.2	Verbraucherübersicht	65
6.5.3	Messwerterfassung	66
6.5.4	Lastmanagement	67
7	Ergebnisse und Auswertung	68
7.1	Ergebnisse der Simulationen	68
7.1.1	Ergebnisse der Simulation Laststeuerung	68
7.1.2	Ergebnisse der Simulation Anlaufsteuerung	70
7.2	Auswertung der Simulationen	71
7.2.1	Vergleich der Ergebnisse	71
7.2.2	Auswirkungen des Lastmanagements	72
7.2.3	Auswirkungen der Bedienung	76
7.3	Erweiterung der Programmierung	78
7.4	Fehlermeldung	79
8	Konzepte für das Lastmanagement	81
8.1	Grundsätzliche Überlegungen	81
8.2	Realisierbarer Systemumfang	82
8.3	Möglichkeiten des Systemeinsatzes	83
8.4	Nutzung der Systemfunktionen	87
8.5	Potentielle Zusatzmaßnahmen	88
9	Zusammenfassung und Ausblick	90
9.1	Zusammenfassung	90
9.2	Ausblick	91
10	Quellen und Literatur	94
11	Anlagen	XCVI
	Selbstständigkeitserklärung	CXLVII

Anlagenverzeichnis

Anlage A - Mensch-Maschine-Interface	XCVII
Anlage B - CFC der Simulation Laststeuerung	XCVIII
Anlage C - CFC der Simulation Anlaufsteuerung	CIV
Anlage D - AWL des Funktionsbausteins FB150 (VB_FIX)	CX
Anlage E - Verbraucher-Zeit-Matrix - Vorlage	CXI
Anlage F - Verbraucher-Zeit-Matrix - Laststeuerung	CXIII
Anlage G - Verbraucher-Zeit-Matrix - Anlaufsteuerung	CXV
Anlage H - Beschreibung der Bausteine der Bibliothek powerrate	CXVII
Anlage I - Beschreibung des Bausteins TIMPER_P	CXXXVIII
Anlage J - Hardware-Konfiguration der SPS Simatic S7	CXLI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in D nach Energieträgern mit Stand 2012 [BMU]	1
Abbildung 1-2: Struktur und Höhe des Primärenergieverbrauchs im Leitszenario 2010 [BMU]	2
Abbildung 2-1: Prinzipieller Aufbau eines Lastmanagement [SIE07d].....	8
Abbildung 3-1: Prinzipieller Aufbau der Simulation	12
Abbildung 3-2: Beschaltung des Profibus-Feldgerätes ET 200S [SIE11b]	16
Abbildung 3-3: Schaltbild des DS1-x [SIE11b].....	17
Abbildung 3-4: Aufbau mit Industrial Ethernet [SIE07d]	19
Abbildung 3-5: Aufbau mit Profibus DP [SIE07d].....	20
Abbildung 4-1: Funktionalitäten von PCS 7 powerrate [SIE10]	22
Abbildung 4-2: Baustein PRE_SYNC im CFC	23
Abbildung 4-3: Baustein PRE_SUM im CFC.....	24
Abbildung 4-4: Aufruf der Funktion PRE_CALC [SIE10].....	26
Abbildung 4-5: Baustein PRE_FIFO im CFC	28
Abbildung 4-6: Baustein PRE_AR_DATA im CFC	28
Abbildung 4-7: Baustein PRE_LMGIM im CFC	30
Abbildung 4-8: Bausteinsymbol PRE_SUM.....	31
Abbildung 4-9: Bausteinsymbol PRE_LMGIM	31
Abbildung 4-10: Sammelanzeige	32
Abbildung 4-11: Faceplate Standard PRE_SUM	33
Abbildung 4-12: Faceplate Eingabe PRE_SUM	34
Abbildung 4-13: Faceplate Trend PRE_SUM	34
Abbildung 4-14: Faceplate Meldungen PRE_SUM.....	35
Abbildung 4-15: Faceplate Kreisbild PRE_SUM	36
Abbildung 4-16: Faceplate Standard PRE_LMGIM	37
Abbildung 4-17: Faceplate Arbeit PRE_LMGIM.....	38
Abbildung 4-18: Faceplate Parameter PRE_LMGIM	39
Abbildung 4-19: Faceplate Balkenparameter PRE_LMGIM	40
Abbildung 4-20: Faceplate Tarife PRE_LMGIM.....	41
Abbildung 4-21: Faceplate Prioritätenliste PRE_LMGIM	42
Abbildung 4-22: Faceplate Verbraucherdetails PRE_LMGIM.....	43

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-23: Faceplate Edit Prioritätenliste PRE_LMGM.....	43
Abbildung 4-24: Faceplate Meldungen PRE_LMGM	44
Abbildung 4-25: Faceplate Konfiguration PRE_LMGM.....	45
Abbildung 6-1: Datenfluss bei Projektierung in STEP 7 [SIE09c]	54
Abbildung 6-2: Baustein FB150 im CFC.....	55
Abbildung 6-3: Logikbaustein AND im CFC.....	57
Abbildung 6-4: Logikbaustein OR im CFC.....	57
Abbildung 6-5: Divisionsbaustein DIV_R im CFC.....	58
Abbildung 6-6: Wandlerbaustein DW_R im CFC.....	58
Abbildung 6-7: Addierbaustein ADD4_P im CFC	59
Abbildung 6-8: Addierbaustein ADD8_P im CFC	59
Abbildung 6-9: Timerbaustein TIMER_P im CFC	60
Abbildung 6-10: Differenzbaustein SUB_R im CFC.....	62
Abbildung 6-11: Komparatorbaustein CMP_P im CFC.....	62
Abbildung 6-12: Status Lastmanagement	65
Abbildung 6-13: Verbraucherübersicht.....	66
Abbildung 6-14: Bausteinsymbol Messwerterfassung.....	67
Abbildung 6-15: Bausteinsymbol Lastmanagement.....	67
Abbildung 7-1: Fehlermeldung "Ungültiges Limit".....	80
Abbildung 11-1: Mensch-Maschine-Interface der Simulation	XCVII
Abbildung 11-2: CFC der Simulation Laststeuerung – Übersicht	XCIX
Abbildung 11-3: CFC der Simulation Laststeuerung - Seite 2.....	C
Abbildung 11-4: CFC der Simulation Laststeuerung - Seite 3.....	CI
Abbildung 11-5: CFC der Simulation Laststeuerung - Seite 4.....	CII
Abbildung 11-6: CFC der Simulation Laststeuerung - Seite 5.....	CIII
Abbildung 11-7: CFC der Simulation Anlaufsteuerung - Übersicht.....	CV
Abbildung 11-8: CFC der Simulation Anlaufsteuerung - Seite 2	CVI
Abbildung 11-9: CFC der Simulation Anlaufsteuerung – Seite 3.....	CVII
Abbildung 11-10: CFC der Simulation Anlaufsteuerung – Seite 4	CVIII
Abbildung 11-11: CFC der Simulation Anlaufsteuerung – Seite 5	CIX

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Konfiguration der S7-400 in der Simulation	13
Tabelle 3-2: Adressen aller Messgeräte	14
Tabelle 3-3: Adressen und Datenbytes der PAC3200	15
Tabelle 3-4: Digitale Eingänge des DS1-x [SIE11b]	18
Tabelle 3-5: Digitale Ausgänge des DS1-x [SIE11b]	18
Tabelle 3-6: Adressen der drei DS1-x in der Simulation	18
Tabelle 3-7: In der Simulation verwendete Verbraucher	21
Tabelle 4-1: Signalarten von PRE_SUM [SIE10]	25
Tabelle 4-2: Algorithmen in PRE_CALC [SIE10]	27
Tabelle 5-1: Verbraucher für Laststeuerung und Anlaufsteuerung	48
Tabelle 5-2: Zeitstaffelung der Leistungsstufen von –R1 und –R2	48
Tabelle 5-3: Priorität und Rollierung der Verbraucher	50
Tabelle 6-1: Schalterbelegung für die Simulationen	64
Tabelle 7-1: Ausschnitt aus der Simulation Laststeuerung	69
Tabelle 7-2: Ausschnitt aus der Simulation Anlaufsteuerung	70
Tabelle 11-1: Verbraucher-Zeit-Matrix - Vorlage	CXI
Tabelle 11-2: Verbraucher-Zeit-Matrix - Laststeuerung - Simulation 1	CXIV
Tabelle 11-3: Verbraucher-Zeit-Matrix - Anlaufsteuerung - Simulation 1	CXVI

Abkürzungsverzeichnis

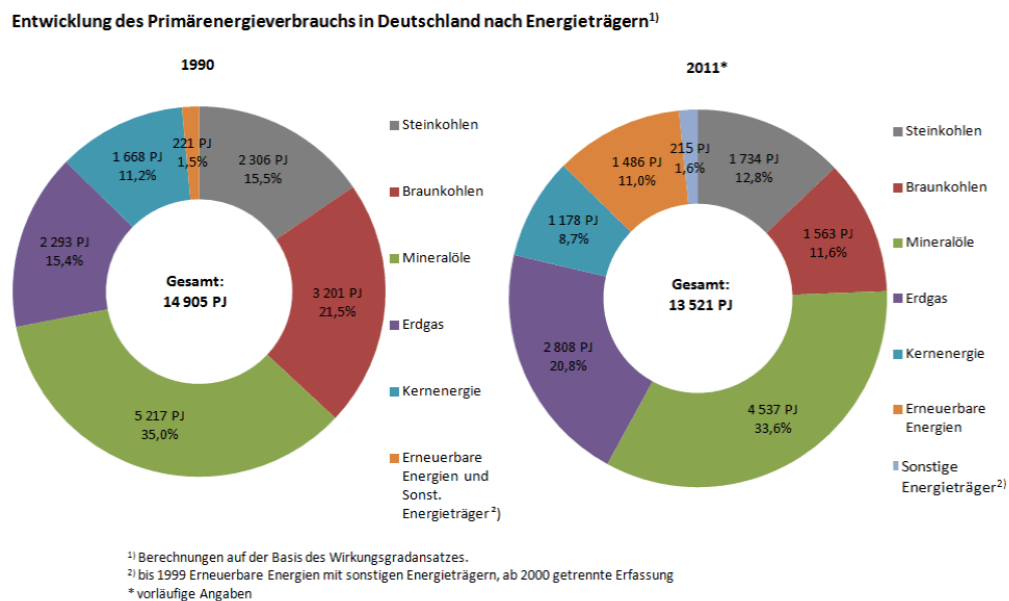
A oder Q	Ausgang
AWL	Anweisungsliste
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
CFC	Continuous Function Chart
DC	Gleichspannung
DI	Digital Input
DO	Digital Output
E oder I	Eingang
E/A	Ein-/Ausgabe
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EW	Eingangs-Wort
FB	Funktionsbaustein
IEC	International Electro-technical Commission
kW	Kilowatt
LAN	Local Area Network
min	Minute
MLFB	Maschinenlesbare Fabrikatebezeichnung
MMI	Mensch-Maschine-Interface
PC	Personal Computer
s	Sekunde
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
S7-400	Siemens Simatic S7-400

1 Einführung

1.1 Motivation

Im Zuge des weltweit steigenden Energiebedarfs aufgrund zunehmender Bevölkerung, der fortschreitenden Industrialisierung und dem steigendem Konsumverhalten auch in den Schwellenländern kommt bei gleichzeitigem Rückgang der noch vorhandenen Ressourcen dem sparsamen Umgang und der der gesteuerten Einsparung von Energie eine immer größere Bedeutung zu.

Eine Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland ist in Abbildung 1-1 dargestellt. Diese zeigt die hohen Anteile an fossilen Energieträgern, wie Steinkohle, Braunkohle und Erdgas, die hierzulande nahezu ausschließlich für die Stromerzeugung eingesetzt werden.



Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990-2011, Stand 09/2012

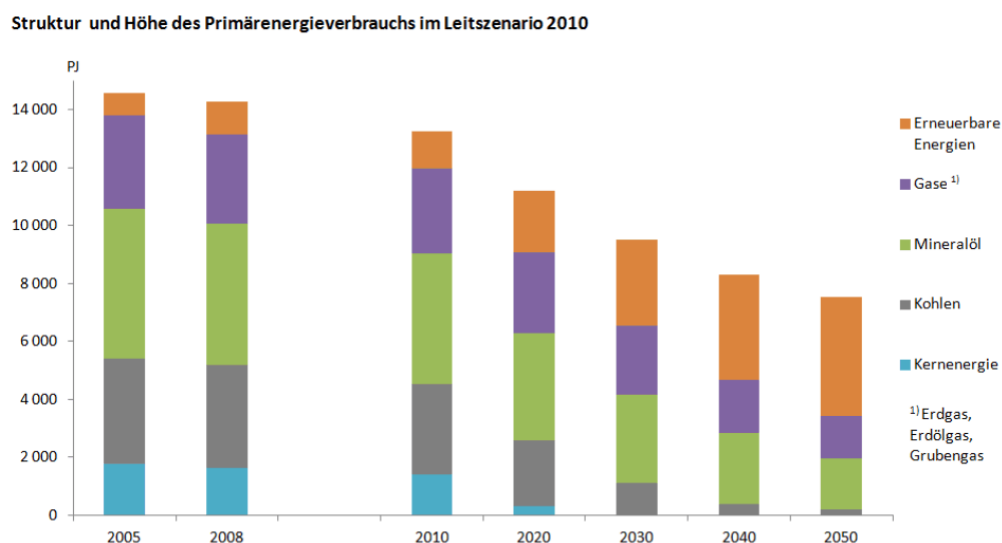
Abbildung 1-1: Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in D nach Energieträgern mit Stand 2012 [BMU]

Auch der Anteil der Kernenergie ist hierzulande noch relativ hoch, wobei nicht nur das in Deutschland ungelöste Problem der Endlagerung einer der Gründe ist, weswegen

zunehmend versucht wird, den Anteil der Kernenergie kontinuierlich weiter herunter zu fahren.

Als eine effiziente Möglichkeit zur Reduktion des Primärenergieverbrauchs gilt die Energieeinsparung und dieser Punkt wird zukünftig im Zuge der Verteuerung von Emissionsrechten und den knapper werdenden Ressourcen bei fossilen Energieträgern wesentlich stärker an Bedeutung erlangen, wobei dies durch den gleichzeitig angestrebten höheren Anteil an regenerativen Energien verstärkt wird, eben jenen Energien, deren Einsatz mit der EEG-Umlage motiviert werden soll.

Die in Abbildung 1-2 gezeigte Prognose des Primärenergieverbrauchs und deren Anteile bis zum Jahre 2050 geben einen Ausblick auf die zukünftig relevanten Primärenergieträger, wobei deutlich zu erkennen ist, dass der Focus auf den erneuerbaren Energien liegt und dass man bestimmte Primärenergieträger nicht mehr nutzen möchte.



Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2010 (Hrsg.): Leitszenario 2010- Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland.

Abbildung 1-2: Struktur und Höhe des Primärenergieverbrauchs im Leitszenario 2010 [BMU]

Aufgrund der Zielsetzung zu mehr regenerativer Energie wird die EEG-Umlage auch in den nächsten Jahren keine Reduzierung erfahren und es ist für energieintensive Unternehmen weiterhin sinnvoll, eine Befreiung von dieser anzustreben, wofür auch

der Einsatz eines zertifizierten Energiemanagementsystems eine der Voraussetzung für die Befreiung ist [BMU12].

Vor diesem Hintergrund der gesetzlichen Anreize ist es folglich im Interesse energieintensiver Unternehmen ihren Energieverbrauch durch ein intelligentes Management ihrer Verbraucher so zu steuern, um ihre Energiekosten, die im Wesentlichen durch zwei beeinflussbare Punkte geprägt sind, so gering wie möglich zu halten:

Lieferbedingungen mit dem EVU: Der Strompreis wird zwischen gewerblichen Kunden und dem EVU oftmals abhängig von der Abnahmemenge mittels einem festen Preis für eine pauschale Energiemenge pro Abrechnungszeitraum vereinbart. Im Gegenzug muss der Kunde bei Überschreitung der Pauschale dem EVU weiteren Verbrauch mit einem Spitzenlastpreis vergüten, der vielfach höher sein kann als der Preis für eine regulär bezogene kWh und somit praktisch eine Strafzahlung darstellt.

EEG-Umlage zur Förderung regenerativer Energien: Zum eigentlichen Strompreis addiert sich seit 2003 die EEG-Umlage, die von jedem Endkunden eines EVU auf den eigentlichen Strompreis entrichtet wird und dem Ausbau der regenerativen Energieversorgung dienen soll. Energieintensive Unternehmen können nach dem EEG jedoch beim BMU eine Befreiung von der EEG-Umlage beantragen, die eine Reduzierung der anfallenden Kosten je nach Unternehmen bis zu 100% der EEG-Umlage ermöglicht [BMU12].

Zu den wirtschaftlichen Aspekten gesellt sich seit geraumer Zeit auch der gesellschaftspolitische Aspekt des Wunsches nach Reduzierung des Ausstoßes des Klima-Gases CO₂, welches bei der Verbrennung fossiler Energieträger frei gesetzt wird und somit gleichzeitig die Kosten für den Erwerb von Emissionszertifikaten reduziert werden können, weshalb durch ein Energiemanagementsystem beste Voraussetzungen entstehen, um unter Berücksichtigung der beschriebenen Aspekte einen Beitrag zur Reduzierung des Energieverbrauches, der Energiekosten und des CO₂-Ausstoß eines Unternehmens leisten zu können.

1.2 Zielsetzung

Zielsetzung dieser Arbeit ist die Ermittlung von Konzepten und Einsatzmöglichkeiten eines automatisierten Lastmanagementsystems unter Zuhilfenahme realitätsnaher Simulationen mit deren Hilfe die Möglichkeiten überprüft werden sollen, die besonders das automatische Lastmanagement-System aus PCS 7 Bibliothek powerrate in Verbindung mit dem Prozessleitsystems SIEMENS PCS 7, bestehend aus einer SPS Simatic S7 und der Visualisierung Siemens WinCC, für die Umsetzung bietet.

Zu diesem Zweck sollen mit den Simulationen durch Abbildung möglichst realer Situationen das Lastmanagement-System PCS 7 powerrate auf seine Eigenschaften überprüft und sein Verhalten getestet werden, wobei auch für den Anwender relevante Parametrierungen, die das Lastmanagement ermöglicht, auf ihre Auswirkungen überprüft werden sollen, wozu das Vorgehen für die jeweilige Simulation in den zugehörigen Abschnitten /5.3/ und /5.4/ dargelegt wird.

Im weiteren Verlauf wird der Begriff Lastmanagement anstelle des im EEG verwendeten Begriffs Energiemanagement verwendet, weil das Lastmanagement in den Simulationen mit den Leistungswerten der Verbraucher arbeitet und aufgrund der Benennung des für das Lastmanagement zuständigen Bausteins **LMGM Load Management** in der PCS 7 powerrate Bibliothek.

1.3 Gliederung

Die Arbeit gliedert sich in elf **Kapitel** inklusive der Bereiche **Quellen und Literatur** und **Anhänge**. Über den Inhalt der einzelnen Abschnitte soll im Folgenden ein Überblick gegeben werden und der Inhalt in Auszügen beschrieben werden soll.

In **Kapitel /1/** wird als Einführung ein kurzer Einblick in die Rahmenbedingungen und die Motivation für den Einsatz von Lastmanagement-Systemen in der Industrie und gewerblichen Sektor geliefert.

Mit **Kapitel /2/** erfolgt ein Abriss über den aktuellen Stand der Technik auf dem Gebiet des Lastmanagements und gibt eine Übersicht über die vorhandenen

Möglichkeiten für den Anwender. Ein Vergleich der Systeme mit dem hier untersuchten automatisierten Lastmanagement rundet das Kapitel ab.

Das **Kapitel /3/** beschreibt die technische Basis für die Umsetzung der Simulation, wobei nur in Ansätzen auf die Technik der Simatic S7 und der angeschlossenen Geräte eingegangen wird, weil diese nicht das Hauptaugenmerk bei dieser Arbeit beinhaltet.

Im **Kapitel /4/** erfolgt eine Beschreibung der Bibliothek powerrate, die die Grundlage des Lastmanagements mit dem System Simatic PCS 7 darstellt. In diesem Kapitel finden sich Beschreibungen der verwendeten Bausteine, deren Bedienung und Visualisierung in WinCC.

Das **Kapitel /5/** gibt einen Einblick in die Erstellung der Simulationen, von der Definition bis zum Konzept zur Umsetzung in zwei Varianten. Des Weiteren findet sich in diesem Kapitel eine Aufstellung der Verbrauchergruppen und deren Projektierung und Auswahl.

Im **Kapitel /6/** wird die Realisierung der Simulationen mit PCS 7 und die Programmierung in STEP 7 dargestellt. Hierzu werden die Modellierung der Simulationen mittels CFC, deren Bedienung und das für diese Zwecke erstellte MIM in WinCC erklärt.

Das **Kapitel /7/** beinhaltet ausgewählte Ergebnisse der beiden Simulation und deren Auswertung. Hierbei kommt eine Matrix zum Einsatz, in der die Handlungen des Anwenders und die Reaktionen des Lastmanagements dokumentiert werden.

Im **Kapitel /8/** werden anhand der Ergebnisse Konzeptionen entworfen, unter welchen Bedingungen ein Lastmanagement im Rahmen des praktischen Einsatzes genutzt werden kann und welche Eigenschaften die Verbraucher dabei erfüllen müssen.

Innerhalb des **Kapitel /9/** wird die Arbeit zusammen gefasst und es soll versucht werden, einen Ausblick auf künftige Entwicklungen des Lastmanagements aus Sicht des Anwenders zu geben. Dabei sollen auch mögliche Verbesserungen von PCS 7 powerrate und dem damit realisierten Lastmanagement aufgezeigt werden.

Das **Kapitel /10/** listet alle für die Erstellung der Arbeit verwendeten Quellen und die der Arbeit zugrunde liegende Literatur auf. Vor allem die darin aufgeführten SIEMENS Handbücher dienten als Basis für die Erstellung der Programme und der Arbeit.

Das **Kapitel /11/** beinhaltet als Anlagen alle die Unterlagen, die im Zuge der Erstellung der Arbeit entstanden oder als ergänzende Informationen dienen können, z.B. technische Daten der verwendeten Geräte, Hardware-Konfiguration der SPS, CFC der Simulationen oder Ergebnisse der Simulationen.

2 Stand der Technik

Das hier betrachtete automatische Lastmanagement ist ein bisher kaum beachteter Zweig der Automatisierung, der erst in den letzten Jahren an Relevanz zugenommen hat und weshalb seit ca. 2006 nur eine automatisierte Lösung von einem deutschen Hersteller im Bereich der Industrie-Automation angeboten wird und diese auch in der letzten aktualisierten Evolutionsstufe noch immer den aktuellen Stand der Technik darstellt, womit lediglich die Möglichkeit bestünde, verschiedene Entwicklungsstände des gleichen Systems miteinander zu vergleichen und trotz dieser Einschränkungen in der Vielfalt der technischen Lösungen, soll in diesem Kapitel dennoch ein Einblick in den aktuellen Stand der Technik gegeben werden.

2.1 Lastmanagement im Allgemeinen

Ein Lastmanagementsystem erfordert neben der Erfassung und Protokollierung von Messwerten vor allem bei automatischen Systemen auch Möglichkeiten zum Eingriff in die elektrische Anlage, um die Einhaltung des vereinbarten Leistungslimits auch aktiv steuern zu können, dabei wird für das Lastmanagement in elektrischen Anlagen die Energie erfasst und in definierten Zeitintervallen ausgewertet, wobei die Datenerfassung sowohl für die Abrechnung als auch für die statistische Auswertung erfolgen kann, welche es ermöglicht die Verbräuche innerhalb eines definierten Intervalls voraus zu berechnen, die wiederum die Grundlage für das Lastmanagement der Anlage und die Basis für die Entscheidungen des Systems darstellen.

Ist die Nutzung eines Lastmanagement-Systems vorgesehen, sollte bereits bei der Projektierung und Errichtung der elektrischen Anlage auf eine Ausstattung der Anlage bzw. der Verbraucher mit fernauslesbaren Messgeräten bzw. fernsteuerbaren Schaltgeräten zur Beeinflussung der Verbraucher und zusätzlich auf eine Möglichkeit zur Kommunikation für die Übermittlung der Messwerte an das Prozessleit-System als auch zur Übertragung der Schaltbefehle an die Schaltgeräte der Verbraucher geachtet werden, wobei es sich bei der Kommunikation zwischen den Geräten z.B. um Industrial Ethernet für die Kommunikation zwischen der Simatic PS-Station und der SPS oder um

Profibus-DP für die Kommunikation zwischen SPS und den Feldgeräten handeln kann, dabei kann der Aufbau eines Prozessleitsystems, wie es auch für ein automatisiertes Lastmanagement genutzt werden kann, z.B. mit Siemens PCS 7 erfolgen, wie es in Abbildung 2-1 als Prinzipschaltbild dargestellt ist, von dem einige der dargestellten Komponenten, Bestandteile und Bausteine auch in der erstellten Simulation eingesetzt wurden.

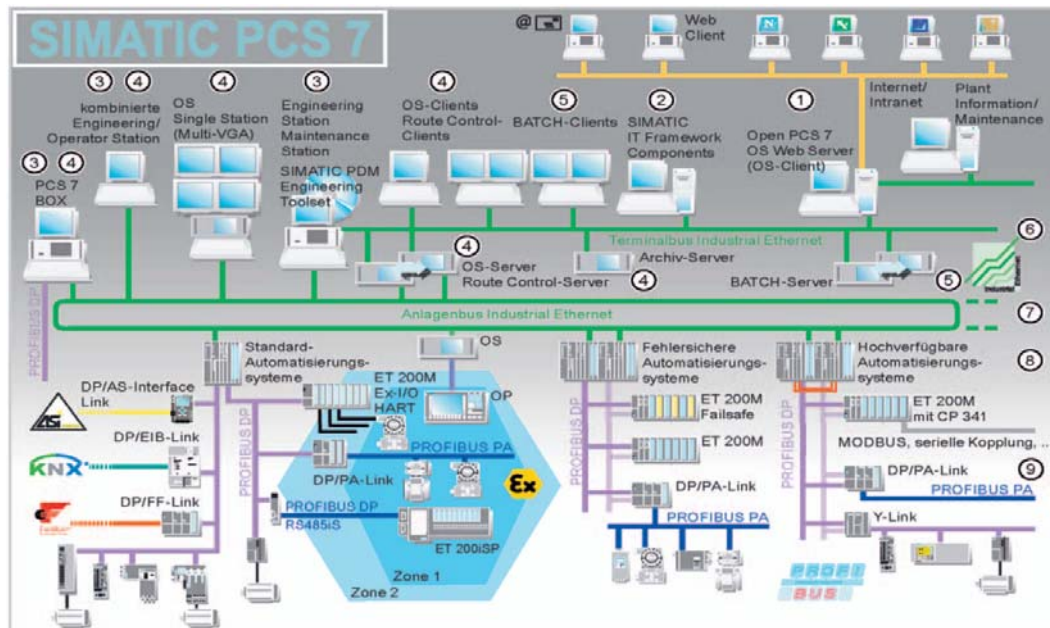


Abbildung 2-1: Prinzipieller Aufbau eines Lastmanagement [SIE07d]

Generell gibt es zwei Möglichkeiten ein Lastmanagement in einem Prozess zu implementieren und in der Folge sollen diese beiden Varianten durch die folgenden beiden Begriffe gekennzeichnet werden:

- Lastmanagement mittels Überwachung (manuell)
- Lastmanagement mittels Automation (automatisch)

Auf diese beiden Arten soll in den Abschnitten /2.2/ und /2.3/ detailliert eingegangen und hierbei die wesentlichen Unterschiede, Vor- und Nachteile zwischen beiden Verfahren dargestellt werden und in Abschnitt /2.4/ erfolgt eine Bewertung der beiden Methoden bezüglich ihrer Anwendbarkeit in der Praxis.

2.2 Lastmanagement mittels Überwachung

Ein System nach dem Prinzip *Lastmanagement durch Überwachung* baut rein auf dem Monitoring der Verbraucher auf, denn diese Lösungen beinhalten das Erfassen, Archivieren und Visualisieren von Messwerten aus einem Prozess, wobei die Messdaten der Verbraucher von fernauslesbaren Messgeräten an das zentrale Datenerfassungssystem übermittelt und dort gespeichert, ausgewertet und gegebenenfalls dargestellt werden, während die Steuerung des Lastflusses nach der Auswertung durch einen Bediener (manuell) erfolgen muss, weil das System selbst keinen Eingriff in die Lastflüsse vornehmen kann, sondern der Bediener muss in Abhängigkeit vom jeweiligen Lastzustand der Anlage die entsprechenden Schalthandlungen zum Ab- oder Zuschalten bestimmter Verbraucher auf Grundlage zuvor erstellter Prioritätslisten vornehmen und ebenso einzuhaltende Startreihenfolgen müssen anhand von Bedienanweisungen koordiniert werden.

Im Bereich des Lastmanagements nach dem Prinzip der Überwachung werden derzeit Lösungen von verschiedenen Herstellern aus dem Bereich elektrischer Schalt- und Messgeräte und/oder der Automatisierungstechnik in Form von fernauslesbare Multifunktions-Messgeräte als auch geeigneten Zählern angeboten, mit denen je nach Hersteller verschieden komplexe Lösungen des Monitoring realisiert werden können, indem fernauslesbare Messgeräte mit entsprechenden Kommunikationsgeräten, die die Informationen z.B. mittels Profibus oder Industrial Ethernet an den Daten-Server, das Prozessleitsystem oder das Bediener-Terminal übertragen, ergänzt werden, wobei diese Lösung trotzdem immer eines oder mehrerer Mitarbeiter für die Ausführung der Befehle bedarf, woraus als Konsequenz besonders im Interesse der Fehlerminimierung der Übergang zu den in Abschnitt /2.3/ beschriebenen Systemen folgt.

2.3 Lastmanagement mittels Automatisierung

Bei einem *Lastmanagement mittels Automation* handelt es sich um eine automatisierte Lösung, bei denen wie bei manuellen Systemen auch, die Messdaten von Verbrauchern und der Anlage innerhalb des Netzes von fernauslesbaren Multifunktions-Messgeräten an einen zentralen Daten-Server oder Datenerfassungssystem übermittelt und dort

gespeichert werden, wobei der Unterschied zu einem System, wie in Abschnitt /2.2/ beschrieben, in der automatisierten Weiterbearbeitung der Messwerte liegt, somit ist es in diesem Fall notwendig, das die Anlage zu den fernauslesbaren Messgeräten zusätzlich über entsprechend fernsteuerbare Feldgeräte/Schaltgeräte verfügt, mit denen dann aktiv in den Lastfluss eingegriffen werden kann.

Die Steuerung des Lastflusses erfolgt somit nicht mittels Schalthandlungen eines Bedieners, sondern durch eine SPS, die die Auswertung übernimmt und anhand eingestellter Prioritätslisten und in Abhängigkeit des Lastzustandes, die entsprechenden Schaltbefehle zum Ab- oder Zuschalten der im System eingebundenen Verbraucher gibt. Für diese Form des Lastmanagements gibt es z. Zt. nur eine Lösung von einem Hersteller aus dem Bereich Automatisierungstechnik, welche von der Firma SIEMENS angeboten wird und eine Erweiterung Bibliothek für das Prozessleitsystem PCS 7 in Form einer Baustein- mit der Bezeichnung *PCS 7 powerrate* beinhaltet.

Mit Hilfe dieser in Abschnitt /4.1/ beschriebenen Bibliothek kann das Prozessleitsystem PCS 7 in die Lage versetzt werden, ein automatisches Lastmanagement durchzuführen, indem die Bibliothek die Funktionsbausteine zur Verfügung stellt, mit denen die Last von bis zu 100 Verbrauchern erfasst, ausgewertet und der Verbrauch einer Anlage mittels Ab- und Zuschaltung (Lastabwurf/Lastaufnahme) automatisiert beeinflusst werden können. Dieses System PCS 7 powerrate kommt in den erstellten Simulationen zum Einsatz und soll im Folgenden im Detail untersucht werden, um zu einem nachvollziehbaren Verständnis der Verfahrensweise zu gelangen und um entsprechende Konzepte und Einsatzmöglichkeiten für ein automatisiertes Lastmanagement ableiten zu können.

2.4 Bewertung der verfügbaren Systeme

Aufgrund dessen, das Lösungen mittels Überwachung die Anwesenheit eines Bedieners bedingen, der mit den zugehörigen Vorgaben entsprechende Schalthandlungen und Schaltbefehle manuell umsetzt, beinhaltet dieses System in der Bedienung immer den Faktor "Mensch" als Fehlerquelle, was durch subjektive Bewertungen bedingt wird und ebenfalls durch unterschiedliche Bediener noch verstärkt werden kann, während hingegen automatisierte Lösungen unabhängig von derartigen Einflüssen oder

Fehlerquellen arbeiten können, denn ihr Programm läuft, einmal angelegt durch den Anwender, vorgegeben mittels Prioritäten-Listen und Programmeinstellungen, definiert immer auf die gleiche Weise ab und in diesem Punkt sind automatische Systeme im laufenden Betrieb autark von subjektiven Sichtweisen oder Einschätzungen eines jeweiligen Bedieners.

Diese Form der Automation bedeutet im Umkehrschluss allerdings nicht, dass automatische Systeme keiner Überwachung oder Kontrolle bedürften, denn durch Ausfälle von Messgeräten und deren Messwerten, durch Fehler in der Kommunikation oder an der Steuerung selbst sind auch diese Systeme nicht unfehlbar und können Funktionsstörungen unterliegen und diese Störungen müssen dann auch hier von einem Bediener behoben und die möglicherweise falsch getroffenen Entscheidungen des Systems müssen von diesem ausgeglichen oder rückgängig gemacht werden, somit können automatisierte Systeme zwar eine entsprechende Erleichterung darstellen, einen vollständigen Ersatz für den Menschen im Prozess bieten sie dennoch nicht.

3 Technische Basis der Simulation

Der in Abbildung 3-1 gezeigte prinzipielle Aufbau der Simulation des Lastmanagements beinhaltet die Anwendung und Nutzung einer SPS Simatic S7, des Prozessleitsystems PCS 7 mit der Bibliothek powerrate und WinCC, wobei die angewendete Hard- und Software nicht das primäre Ziel der Untersuchungen ist, weshalb eine Beschreibung auf die für die Simulation wesentlichen Eigenschaften beschränkt werden soll.

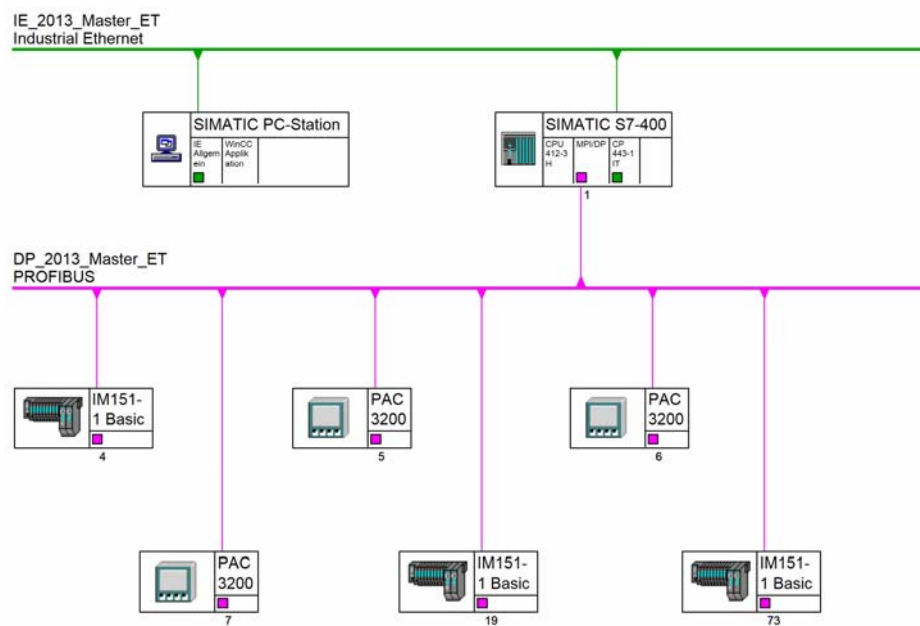


Abbildung 3-1: Prinzipieller Aufbau der Simulation

In den folgenden Abschnitten sollen die in der Simulation eingesetzte Hardware, die verwendete Software, die Kommunikationssysteme und die Verbraucher mit ihren relevanten Funktionen für die Simulation beschrieben werden.

3.1 SIMATIC PC-Station

Die Simatic PC-Station stellt die Basis für das Siemens Prozessleitsystem PCS 7 und die Visualisierung mittels WinCC zur Verfügung und kann mittels eines handelsüblicher IBM/Intel-kompatiblen PCs, der mit der benötigten Peripherie in Form eines

Netzwerkadapters für Industrial Ethernet versehen ist, realisiert werden, so lange der PC unter dem Betriebssystem Microsoft Windows XP Professional betrieben wird.

Der Netzwerkadapter stellt die Unterstützung für LAN-1000 mit einem RJ-45-Anschluss als Schnittstelle für die Kommunikation mit der SPS über Industrial Ethernet bereit. Auf die Beschreibung der Installation und Inbetriebnahme des PCS 7 und WinCC wird im Folgenden verzichtet.

3.2 SPS SIMATIC S7-400

Für die Arbeit mit dem Prozessleitsystem Simatic PCS 7 und der Visualisierungsoberfläche Siemens WinCC, wird eine PCS 7-fähige Simatic S7 benötigt, die in der Lage ist, unter der Laufzeit mit dem System PCS 7 und WinCC zu kommunizieren und Daten und Befehle in Echtzeit auszutauschen.

Die verwendete *SIMATIC S7-400* mit CPU 412-H3 ist ein PCS 7-fähiges Modell aus der Reihe der hochverfügbaren SPS von SIEMENS, wobei eine S7-400 modular aufgebaut und bestückt werden kann, wodurch die Zusammenstellung einer solchen SPS von der jeweiligen Anwendung abhängig und in ihrer Konfiguration nicht einheitlich ist.

Für die Realisierung der Simulation besteht die Simatic S7-400 aus sechs modularen Baugruppen, die in Tabelle 3-1 zusammengefasst dargestellt sind.

Baugruppe	Bezeichnung	MLFB-Nummer	Version
Stromversorgung (PS)	PS 407 10A	6ES7 407-0KR02-0AA0	-
S7-CPU	CPU 412-3 H	6ES7 412-3HJ14-0AB0	V4.5.1
Digitale Eingabe	DI32xDC 24V	6ES7 421-1BL00-0AA0	-
Digitale Ausgabe	DO32xDC24V/0.5A	6ES7 422-1BL00-0AA0	-
Kommunikations- Prozessor (CP)	CP 443-1 IT	6GK7 443-1GX11-0XE0	V1.0.1

Tabelle 3-1: Konfiguration der S7-400 in der Simulation

Die Beschreibung der Geräte und Module und ihrer Eigenschaften finden sich ausführlich in den entsprechenden Quellen [SIE03a], [SIE06a], [SIE07a] und [SIE11d]

und eine Übersicht der Hardware-Konfiguration der SPS aus der Projektierung im Simatic Manager, wie sie für alle Simulationen verwendet wurde, ist als Ausdruck in Anlage J beigelegt.

3.3 Messgerät SENTRON PAC3200

Das verwendete Multi-Messgerät *SENTRON PAC3200* wird in elektrischen Schaltanlagen für die Überwachung und Wartung eingesetzt, indem das mit einem Kommunikationsmodul ausgerüstete PAC3200 über Profibus DP mit einer SPS kommunizieren kann. Die Daten des PAC3200 konnten von der SPS gelesen werden, indem den drei Messgeräten in der Simulation die Adressen für den Profibus DP wie folgt eingestellt wurden:

- Messgerät -M1: DP 5
- Messgerät -M2: DP 6
- Messgerät -M3: DP 7

Für die Übertragung der Messwerte muss für das PAC3200 im SIMATIC Manager konfiguriert werden, welche Messgrößen über den Profibus DP bereitgestellt werden sollen, weswegen für die Datenübertragung in der Konfiguration des PAC3200 der Basistyp 1 verwendet wurde, weil dieser die Gesamt-Wirkleistung, auf der das Lastmanagement aufbaut, beinhaltet [SIE11a].

Die Ausgangsdaten des PAC3200 werden auf einer Datenbreite von 20 Byte Eingangsdaten plus zwei Steuerbytes zur Verfügung gestellt [SIE11a], die in Zusammenspiel mit den Baugruppen der SPS die in Tabelle 3-2 dargestellten Adressen für die drei PAC3200 ergeben.

Profibus-Adresse	E-Adresse	A-Adresse
DP 5	528...547	528...529
DP 6	548...567	530...531
DP 7	568...587	532...533

Tabelle 3-2: Adressen aller Messgeräte

Die Gesamtwirkleistung wird in dieser Konfiguration auf den Bytes 16 bis 19 des Telegramms übertragen [SIE11a] und mit den Adressen aus Tabelle 3-2 ergeben sich daraus für die drei PAC3200 die in Tabelle 3-3 dargestellten Adress-Eingänge der Wirkleistungen und die im CFC benötigten Daten-Eingangswörter.

DP-Adresse	E-Adresse	Eingangswort
DP 5	544...547	EW544
DP 6	564...567	EW564
DP 7	684...687	EW684

Tabelle 3-3: Adressen und Datenbytes der PAC3200

3.4 Profibus-Feldgerät ET 200S

Zur Schaltung der drei Motoren des Aufbaus kommt das dezentrale Feldgerät *ET 200S* zum Einsatz, dessen Module mittels Profibus DP durch die SPS steuerbar sind und entsprechend der eingesetzten Funktions-Baugruppen bzw. Module verschiedene Funktionen bereitstellen können, mit denen in der Simulation die drei Drehstrommotoren mittels auf die Feldgeräte ET 200S aufgebautem Motordirektstarter geschaltet wurden, wofür sich die hier verwendeten Kombinationen des ET 200S aus den folgenden drei Modulen zusammensetzen:

- Interfacemodul IM 151
- Powermodul PM-D DC24V
- Direktstarter DS1-x

Die elektrische Beschaltung der für die Simulation eingesetzten ET 200S ist in Abbildung 3-2 dargestellt, wobei der folgende Abschnitt eine Beschreibung der einzelnen Bestandteile des hier verwendeten ET 200S enthält und ihren Einsatz im Zusammenhang mit der Simulation und die benötigten Funktionen näher beleuchtet.

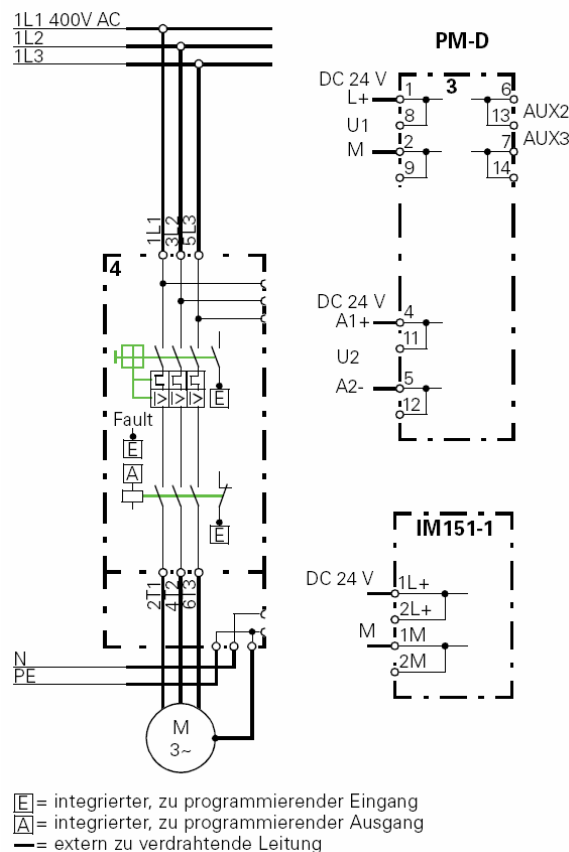


Abbildung 3-2: Beschaltung des Profibus-Feldgerätes ET 200S [SIE11b]

Interfacemodul IM 151

Das Interfacemodul *IM 151* stellt die Kommunikationsschnittstelle des ET 200S über Profibus DP dar, über den das IM 151 die Befehle der SPS für das DS1-x empfängt und im Gegenzug die Rückmeldungen des DS1-x an die SPS sendet.

Alleinig für die Kommunikation zuständig besitzt das IM 151 keine eigenen Eingänge oder Ausgänge zum Anschluss etwaiger Geräte, stattdessen sind die IM 151 für die Bereitstellung der Kommunikation des ET 200S mit der SPS lediglich an den Profibus DP angeschlossen und ihnen ist für die Simulation jeweils eine Profibus DP - Adresse wie folgt zugeordnet:

- ET 200S Motor –M1: DP 7
- ET 200S Motor -M2: DP 19
- ET 200S Motor –M3: DP 73

Powermodul PM-D 24V

Das Powermodul *PM-D 24V* stellt die Stromversorgung des Motorstarters auf dem ET 200S dar und versorgt den Motor-Direktstarter DS1-x mit der benötigten Betriebsspannung von 24 V DC, weshalb es selbst über keine eigenen Schaltaugänge oder eigene Kommunikation verfügt.

Motor-Direktstarter DS1-x

Der Motordirektstarter *DS1-x* übernimmt das Zu- und Abschalten des jeweils angeschlossenen Drehstrommotors mittels eines zugehörigen Schützes, wobei die dafür nötigen Schaltbefehle bzw. Rückmeldungen von der bzw. an die SPS über das IM 151 empfangen bzw. gesendet werden, weshalb der DS1-x für die Ansteuerung durch die SPS als auch für die Rückmeldung an die SPS über vier digitale Eingänge (DI) als auch vier digitale Ausgänge (DO) verfügt, deren Beschaltung in Abbildung 3-3 dargestellt ist.

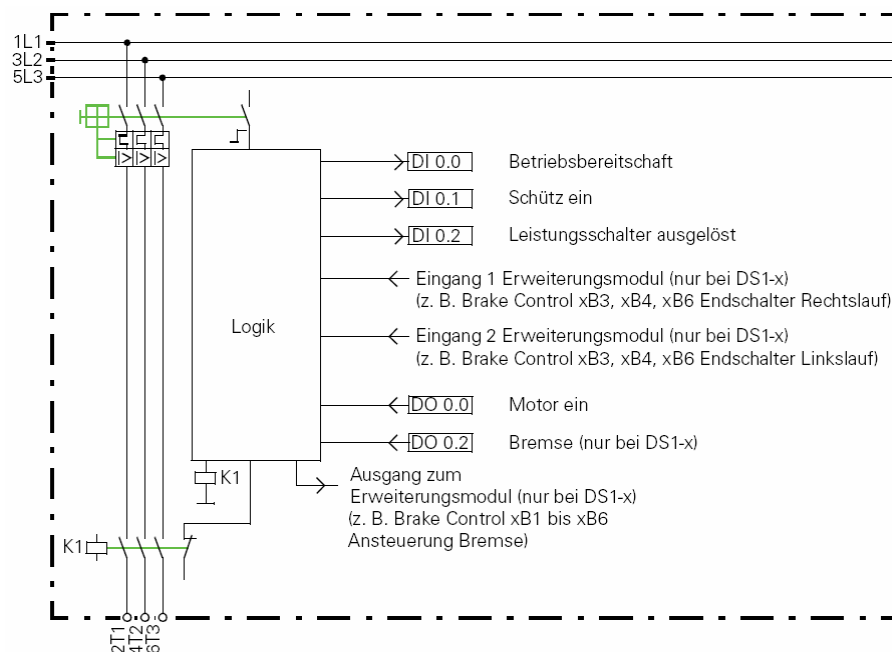


Abbildung 3-3: Schaltbild des DS1-x [SIE11b]

Die Zuordnung und Beschreibung der Funktionen der digitalen Ein- und Ausgänge des DS1-x ist in Tabelle 3-4 und Tabelle 3-5 dargestellt.

DI 0.0 Betriebsbereitschaft	DI 0.1 Rückmeldung von Schütz
0 Schütz klemmt oder ist verschweißt (Gerätefehler)	0 aus
1 betriebsbereit, kein Fehler	1 ein (Rechtslauf/Linkslauf bei RS1-x)
DI 0.2 Leistungsschalter	DI 0.3 wird nicht angesteuert
0 eingeschaltet (ON)	
1 ausgelöst (OFF)	

Tabelle 3-4: Digitale Eingänge des DS1-x [SIE11b]

DO 0.0 Signal an Schütz	DO 0.1 Signal an Schütz (nur RS1-x)
0 Motor aus Rechtslauf aus (bei RS1-x)	0 Linkslauf aus (nur RS1-x)
1 Motor ein Rechtslauf ein (bei RS1-x)	1 Linkslauf ein (nur RS1-x)
DO 0.2 Ansteuerung für Erweiterungsmodul (z.B. Brake Control)	DO 0.3 wird nicht angesteuert
0 keine Ansteuerung (z.B. Brake Control - Bremse aktiv - Motor gebremst)	
1 Ansteuerung (z.B. Brake Control - Bremse gelöst - Motor ungebremst)	

Tabelle 3-5: Digitale Ausgänge des DS1-x [SIE11b]

Im Zusammenspiel mit den Ein- und Ausgabebaugruppen der SPS ergeben sich die Adressen für die Digitalausgänge der drei DS1-x wie in Tabelle 3-6 dargestellt, wobei diese Adressierungen für Ein- und Ausgänge der drei DS1-x in beiden Simulationen identisch sind.

Profibus-Adresse	Bezeichnung	E-Adresse	A-Adresse
DP 4	DO 0.0 Signal an Schütz (Rechtslauf)	-	A4.0
	DI 0.1 Rückmeldung von Schütz (aus/ein)	E4.1	-
DP 19	DO 0.0 Signal an Schütz (Rechtslauf)	-	A5.0
	DI 0.1 Rückmeldung von Schütz (aus/ein)	E5.1	-
DP 73	DO 0.0 Signal an Schütz (Rechtslauf)	-	A6.0
	DI 0.1 Rückmeldung von Schütz (aus/ein)	E6.1	-

Tabelle 3-6: Adressen der drei DS1-x in der Simulation

Wie aus der Tabelle ersichtlich werden die Schaltbefehle der SPS über die Ausgänge des DS1-x an das Schütz übermittelt und alle Rückmeldungen des Schützes werden über die Eingänge des DS1-x an die SPS bereit gestellt.

3.5 Industrial Ethernet

In der Simulation kommuniziert die Simatic PC-Station über den Netzwerkadapter mittels Industrial Ethernet mit der SPS, wobei die in der Simulation verwendete Realisierung Ethernet/IP verwendet wird, was eine Ethernet-basierte, echtzeitfähige Kommunikationsplattform in der Automatisierungstechnik darstellt.

Die Kommunikation der Simatic PC-Station mit der SPS ist als schematischer Aufbau in Abbildung 3-4 dargestellt und zeigt eine Industrial Ethernet Verbindung zwischen der Simatic PC-Station und der SPS mittels deren Kommunikationsprozessors (CP 443-1).

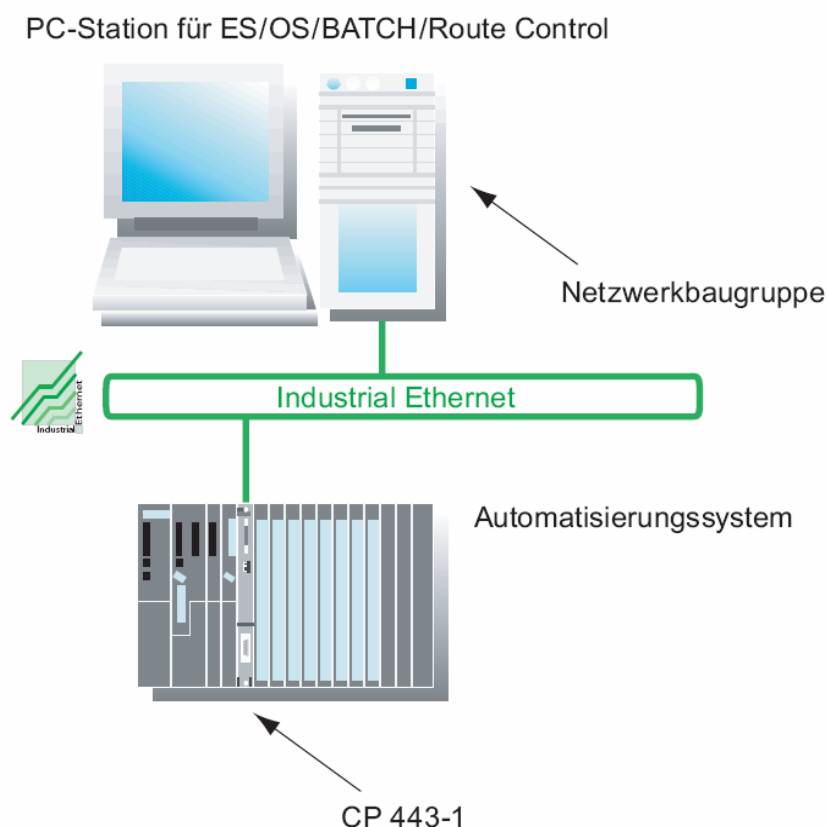


Abbildung 3-4: Aufbau mit Industrial Ethernet [SIE07d]

Aufgrund der Nutzung des Ethernet-Standards konnte die Verbindung zwischen der Simatic PC-Station und der SPS mittels eines handelsüblichen und konfektionierten LAN-Kabels der Kategorie 6 realisiert werden.

3.6 Feldbus Profibus DP

Der in der Simulation eingesetzte **Process Field Bus** ist ein Standard für die Feldbus-Geräte-Kommunikation in der Automatisierungstechnik und dient der Kommunikation zwischen der SPS, dem DP-Master, und den verschiedenen Feldgeräten, den DP-Slaves, in der Prozessautomation.

Die Kommunikation der SPS mit ihren Feldgeräten ist als schematischer Aufbau in Abbildung 3-5 dargestellt und zeigt die Profibus DP Verbindung zwischen einer SPS und deren dezentralen Feldgeräten, darunter auch ein ET200M, einer Variation des in den Simulationen verwendeten ET 200S.

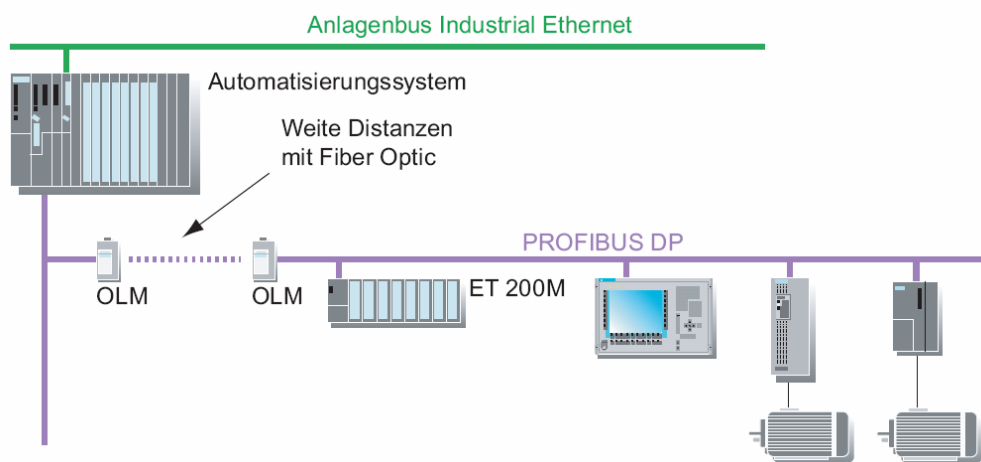


Abbildung 3-5: Aufbau mit Profibus DP [SIE07d]

Der Profibus wird im Rahmen der Simulationen in der Konfiguration als Profibus mit dezentraler Peripherie (DP) zur Kommunikation zwischen der SPS und den dezentralen Feldgeräten eingesetzt, wie sie in den Abschnitten /3.3/ bzw. /3.4/ dargestellt und beschrieben sind.

3.7 Verbraucher in der Simulation

In dem zur Verfügung stehenden technischen Aufbau als Basis für die Simulation standen bereits drei Drehstrommotoren vorinstalliert bereit, doch weil eine realitätsnahe Simulation mit nur drei Motoren als nicht umsetzbar erschien, wurden für die Simulationen zusätzliche virtuelle Verbraucher, wie in Abschnitt /5.2/ beschrieben, modelliert, die zusammen mit den in Tabelle 3-7 gezeigten reale Verbrauchern, für die Simulationen verwendet wurden, wobei die Motoren zur Gewinnung realer nicht statischer Lastwerte dienen.

Verbraucher	Anzahl	Benennung	Bemerkung
Motor	3	-M1, -M2, -M3	Real 0,18 kW
Motor	4	-M4, -M5, -M6, -M7	Virtuelle Last
Widerstand	3	-R1, -R2, -R3	Virtuelle Last

Tabelle 3-7: In der Simulation verwendete Verbraucher

Aufgrund dessen, dass bei der Messwerterübertragung von einem PAC3200 zur SPS nur Zahlenwerte und keine dazugehörigen Einheiten übertragen werden und die Definition der Einheit als Kilowatt erst im Messwerterfassungs-Baustein stattfindet, können mit den realen 0,180 kW Motoren in der Simulation 180 kW Motoren dargestellt werden. Diese Einstellungen wurden für alle Simulationen beibehalten.

Eine detaillierte Beschreibung der Modellierung der virtuellen Verbraucher bzw. deren Programmierung für die einzelnen Simulationen wird in den Abschnitten /5.3/ und /5.4/ gegeben.

4 Lastmanagement PCS 7 powerrate

Für die Simulationen kommt das Prozessleitsystem Siemens Simatic PCS 7 im Verbund mit einer PCS 7-fähigen SPS zum Einsatz, was in der Industrie die Steuerung und Regelung betrieblicher Prozesse ermöglicht, wobei das Lastmanagement selbst innerhalb des PCS 7 durch die separate Baustein-Bibliothek mit dem Namen PCS 7 powerrate realisiert wird.

Diese Bibliothek enthält die für das Lastmanagement benötigten und verwendungsfertigen Funktionsbausteine und Funktionen, die in den Simulationen zum Einsatz kommen und deren prinzipielles Zusammenspiel untereinander, mit der SPS, den angeschlossenen Messgeräten, und der Visualisierung WinCC auf der Simatic PC-Station in Abbildung 4-1 dargestellt ist und die im Folgenden vorgestellt werden sollen.

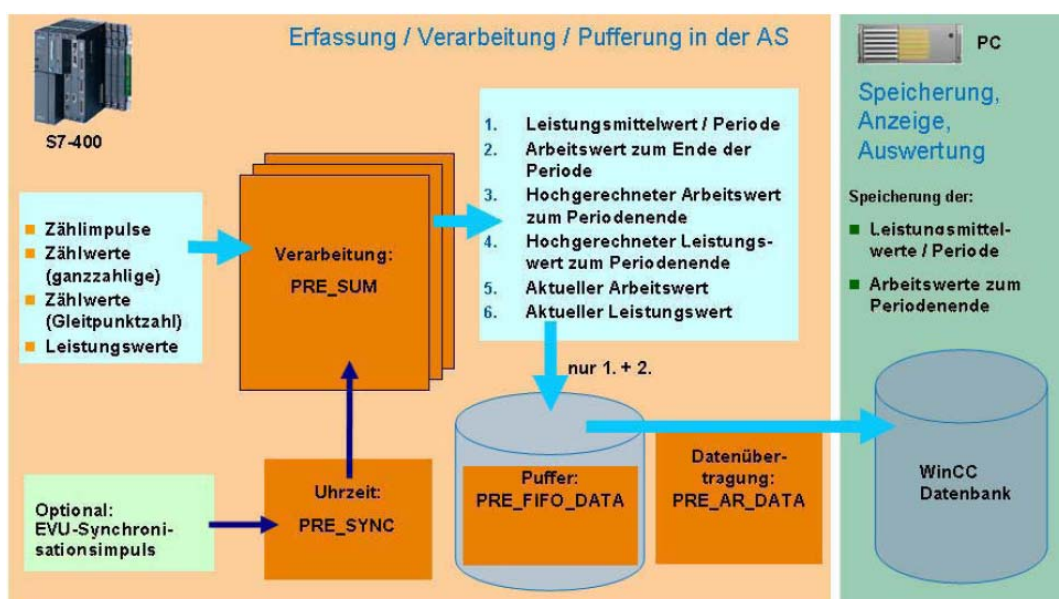


Abbildung 4-1: Funktionalitäten von PCS 7 powerrate [SIE10]

4.1 Bausteine in PCS 7 powerrate

Innerhalb der Programmierung der Simulationen in CFC werden vom Anwender die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Funktionsbausteine von PCS 7 powerrate genutzt, die unter anderem zur Erfassung der Messwerte, zur Übertragung und

Speicherung der Messwerte an das Archiv von WinCC und für das eigentliche Lastmanagements benötigt werden:

- PRE_SYNC [FB 1060: Time synchronization]
- PRE_SUM [FB 1061: Energy acquisition]
- PRE_FIFO-DATA [FB 1062: FIFO]
- PRE_AR_DATA [FB 1063: Archive of data]
- PRE_LMGM [FB 1065: Load Management]

In den folgenden Abschnitten soll aufgrund des Umfangs lediglich ein Überblick über die verwendeten Funktionsbausteine und ihre Eigenschaften gegeben werden, wobei eine ausführliche Beschreibung der Bausteine mit ihrem spezifischen Verhalten den Quellen [SIE09a], [SIE09b] und [SIE10] oder Anlage H entnommen werden kann.

4.1.1 Baustein PRE_SYNC

Der Baustein *PRE_SYNC* mit der internen Bezeichnung FB 1060 ist ein geschützter Baustein und fungiert als Taktgeber zur Zeitsynchronisation für den Baustein zur Energieerfassung PRE_SUM und den Baustein für das Lastmanagement PRE_LMGM. Der Baustein PRE_SYNC, so wie er in einem CFC-Plan dargestellt wird, ist in Abbildung 4-2 dargestellt, wobei alle verschaltbaren Eingänge und Ausgänge sichtbar geschaltet sind.



Abbildung 4-2: Baustein PRE_SYNC im CFC

Der Baustein PRE_SYNC stellt nach Deaktivierung der externen Synchronisation die für eine korrekte Funktion des Lastmanagements notwendige interne Synchronisation bereit, wobei die Periodenzeit, angepasst an die in der Energiewirtschaft übliche Tarifperiode von 15 min, entsprechend auf 900 s eingestellt wurde.

4.1.2 Baustein PRE_SUM

Der Baustein *PRE_SUM* mit der internen Bezeichnung FB 1061 ist ein geschützter Baustein und übernimmt die Aufgabe der Leistungserfassung, wobei der Baustein *PRE_SUM* unabhängig von den verwendeten Messgeräten arbeitet und aus den erfassten Messwerten die notwendigen Eingangsdaten für den Lastmanagement Baustein *PRE_LMG* aufbereitet und weiterhin eine Schnittstelle zur Simatic PC-Station und WinCC bildet.

Der Baustein *PRE_SUM*, so wie er in einem CFC-Plan dargestellt wird, ist in Abbildung 4-3 gezeigt, wobei nur die für die Bedienung notwendigen verschaltbaren Eingänge und Ausgänge sichtbar geschaltet sind.

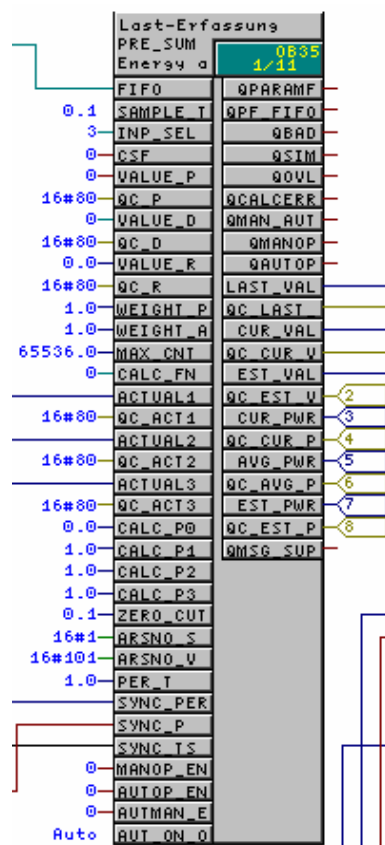


Abbildung 4-3: Baustein PRE_SUM im CFC

Durch den Baustein *PRE_SUM* werden die in Tabelle 4-1 dargestellten unterschiedlichen Signalarten für die Erfassung und Bereitstellung der Ausgangsdaten unterstützt, wobei sich durch die Wahl der Signalarten auch unterschiedliche

Eigenschaften des Bausteins PRE_SUM ergeben, jedoch kommt in der Simulation ausschließlich die Signalart 3 zur Verwendung, womit einige Funktionen von PRE_SUM in der Folge nicht nutzbar sind, was in Abschnitt /4.3/ im Zusammenhang mit der Bedienung des Bausteins näher beschrieben wird.

Signalart	Parameter	Normierungsfaktor/ Berechnungskonstanten
0 = Zählimpuls	VALUE_P	WEIGHT_P
1 = Ganzzahliger Zählwert	VALUE_D	WEIGHT_A
2 = analoger Zählwert	VALUE_R	WEIGHT_A
3 = Mit Kalkulationsfunktion berechneter Energiewert *	ACTUALx (x=1..3)	CALC_Px (x=0..3),CALC_FN*

Tabelle 4-1: Signalarten von PRE_SUM [SIE10]

* siehe Berechnungsalgorithmen, die im Baustein PRE_CALC enthalten sind

Bei Wahl der Signalart 3 wird der aktuelle Leistungswert mit der Funktion PRE_CALC fortlaufend berechnet, indem er zur Gewinnung der Energiewerte auf die Bearbeitungszykluszeit des Bausteins als Zeitbasis umgerechnet wird und wenn eine voreingestellte Rundungsgrenze unterschritten wird, der errechnete Aktuelle Leistungswert auf den Wert 0 gesetzt wird.

Zu Beginn einer Synchronisationsperiode wird der aktuelle Zählwert = 0 gesetzt und während der neuen Synchronisationsperiode werden die aktuell ermittelten Energiewerte zyklisch auf den aktuellen Energiewert addiert und am Ende der Synchronisationsperiode wird aus der verbrauchten Energie der Leistungsmittelwert berechnet und der Energiewert wird auf die gesamte Synchronisationsperiode hochgerechnet und daraus die erwartete, durchschnittliche Leistung für die aktuelle Synchronisationsperiode ermittelt.

Die Berechnung wird hierbei nicht vom Baustein PRE_SUM selbst ausgeführt, sondern dieser ruft intern die nicht geschützte Funktion *PRE_CALC* auf, die die Berechnungsalgorithmen für die Ermittlung der Ausgangswerte des Bausteins PRE_SUM enthält.

Der Zusammenhang zw. den Eingängen und Ausgängen des Bausteins PRE_SUM und der Funktion PRE_CALC ist in Abbildung 4-4 dargestellt.

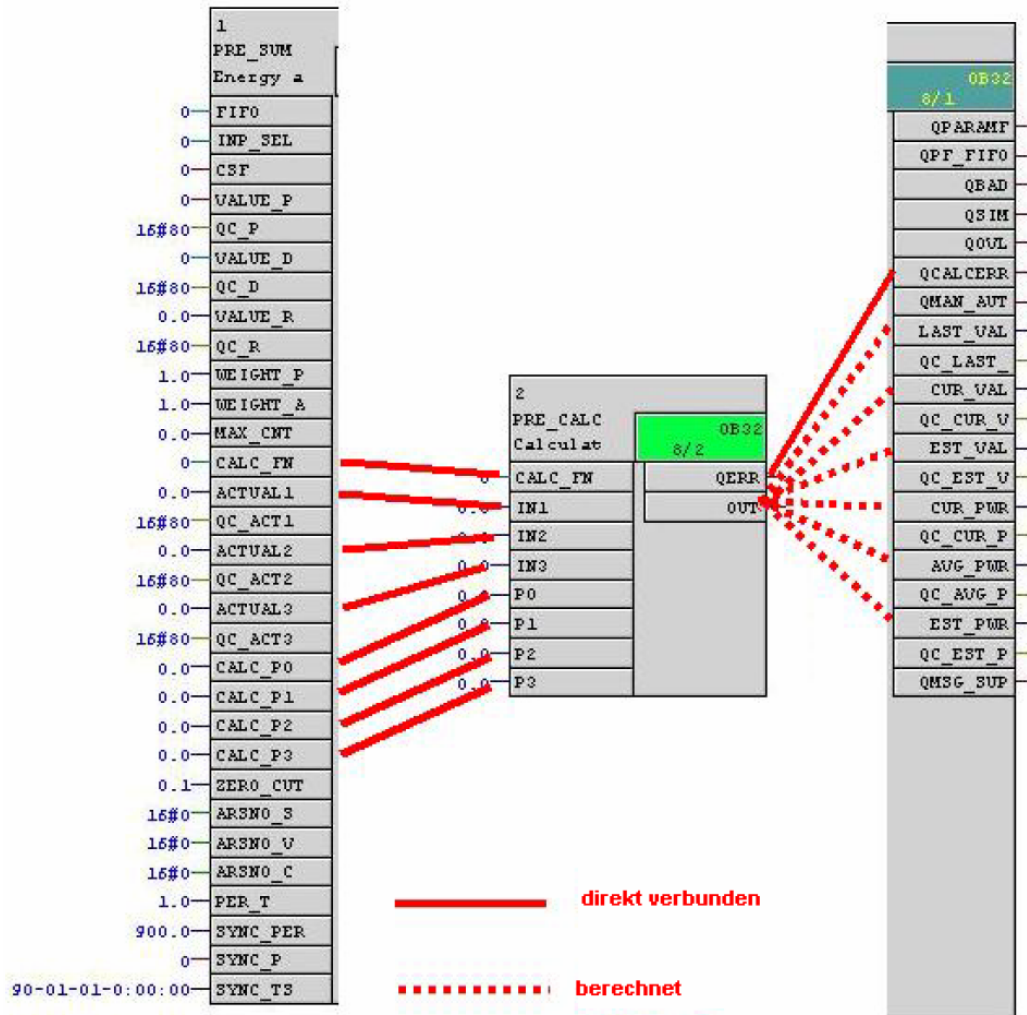


Abbildung 4-4: Aufruf der Funktion PRE_CALC [SIE10]

In der Funktion *PRE_CALC* sind bei Lieferung der Bibliothek die in Tabelle 4-2 dargestellten Algorithmen implementiert, die für die Berechnung genutzt werden können, wobei für den Aufruf der jeweiligen Kalkulation, der Eingang *CALC_FN* (Kalkulationsfunktion) des Bausteins *PRE_SUM* entsprechend der Tabelle 4-2 parametrisiert werden muss.

Funktion CALC_FN	Algorithmus
0	$\text{OUT} = \text{P0} + \text{P1} * \text{IN1} + \text{P2} * \text{IN2} + \text{P3} * \text{IN3}$
1	<p>Wärmemengenberechnung für Flüssigkeiten</p> $\text{OUT} = \text{P0} * \text{IN1} * \text{P1} * \text{IN2}$ <p> P0 = spezifische Wärmekapazität c P1 = Dichte ρ IN1 = Durchfluss V IN2 = Temperaturdifferenz ΔT </p>

Tabelle 4-2: Algorithmen in PRE_CALC [SIE10]

In der Formel für CALC_FN = 0 repräsentieren die auftretenden Größen IN1 bis IN3 die Eingangswerte ACTUAL1 bis ACTUAL3 des Bausteins PRE_SUM und P0 bis P1 stellen die Kalkulationskonstanten der Gleichung dar, mit denen die Gleichung normiert oder ein Offset eingestellt werden kann, wobei der Eingang P0 in der Simulation = 0 und P1, P2 und P3 = 1 gesetzt wird.

Der Quell-Code der Funktion in der Bibliothek enthalten und kann bei Bedarf vom Anwender um weitere Berechnungen erweitert werden, dabei ist aber nicht vorgesehen oder besser untersagt, die Schnittstelle der Funktion zu ändern.

4.1.3 Baustein PRE_FIFO-DATA

Der nicht geschützte Baustein *PRE_FIFO_DATA* mit der internen Bezeichnung FB 1062 ist der Datenpuffer des Lastmanagements im Zusammenspiel mit PCS 7 und WinCC. Der Baustein übernimmt die Organisation des Umlaufpuffers, speichert die von PRE_SUM ermittelten Messwerte zwischen und stellt sie zur Sendung an WinCC dem Baustein PRE_AR_DATA zur Verfügung.

Für diesen Zweck wird er mit den Bausteinen PRE_SUM und PRE_AR_DATA verschaltet und die Abbildung 4-5 zeigt den Baustein PRE_FIFO, wie er in einem CFC-Plan dargestellt ist.



Abbildung 4-5: Baustein PRE_FIFO im CFC

Der Quell-Code des Bausteins ist als SCL in der Bibliothek enthalten und kann bei Bedarf vom Anwender insofern geändert werden, dass die Länge des Puffers anpasst und damit die Anzahl der Elemente, die innerhalb des FIFO-Puffers vorgehalten werden, verändert werden kann.

4.1.4 Baustein PRE_AR_DATA

Der nicht geschützte Baustein *PRE_AR_DATA* mit der internen Bezeichnung FB 1063 beinhaltet die Datenschnittstelle des Lastmanagements und organisiert die Übertragung der von PRE_FIFO gepufferten Daten zum Anwenderarchiv auf der Simatic PC-Station. Zu dem Zweck wird der Baustein mit PRE_FIFO verschaltet und sendet die Archivdaten an die Simatic PC-Station.

Der benötigte Speicherbereich für die zu sendenden Telegrammdaten ist 26 Byte lang und ist im zugeordneten Instanz-Datenbaustein enthalten, wozu dieser Baustein beim ersten Übersetzen des Programms und des Bausteins angelegt wird.

Die Abbildung 4-6 zeigt den Baustein PRE_AR_DATA, wie er in einem CFC-Plan dargestellt werden würde, wobei in diesem Fall alle verschaltbaren Eingänge und Ausgänge sichtbar geschaltet sind.

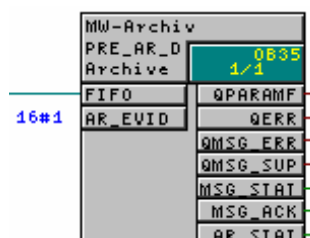


Abbildung 4-6: Baustein PRE_AR_DATA im CFC

Die Quelle des Bausteins ist als SCL in der Bibliothek enthalten, womit der Anwender der Lage ist, die Telegrammdaten über die Anzahl der Elemente innerhalb der Telegrammdaten selbst ändern zu können.

4.1.5 Baustein PRE_LMGM

Der geschützte Baustein *PRE_LMGM* mit der internen Bezeichnung FB 1065 ist in PCS 7 powerrate der für das eigentliche Lastmanagement zuständige Baustein und kann in der hier vorliegenden Form bis zu 100 Verbraucher verwalten. Der Baustein realisiert die allgemeinen Funktionen des Lastmanagements:

- Berechnung der Differenzleistung auf Basis des aktuellen Verbrauchs und des vom Baustein PRE_SUM übernommenen Trends zum Perioden-Ende.
- Überwachung des Bezugslimits
- Bei einer bevorstehenden Limitüberschreitung Ausgabe einer Warnung oder eines Alarms
- Generieren eines Freigabe- / Sperrsignals für jeden Verbraucher, basierend auf der Prioritätenliste unter Berücksichtigung von minimalen und maximalen Ausschaltzeiten bzw. minimalen Einschaltzeiten des Verbrauchers

Für die Realisierung des Lastmanagements übernimmt der Baustein die berechneten Daten vom Baustein PRE_SUM und vergleicht diese mit den aktuellen Leistungswerten der angeschlossenen Verbraucher und den eingestellten Tarifen und nimmt anhand der eingestellten Prioritäten und Schaltzeiten die Ab- und Zuschaltung der angeschlossenen Verbraucher automatisch vor.

Der Baustein PRE_LMGM, so wie er in einem CFC-Plan dargestellt werden würde, ist in Abbildung 4-7 gezeigt, wobei aufgrund der Übersichtlichkeit nur die für die Bedienung wirklich notwendigen verschaltbaren Eingänge und Ausgänge sichtbar geschaltet sind.

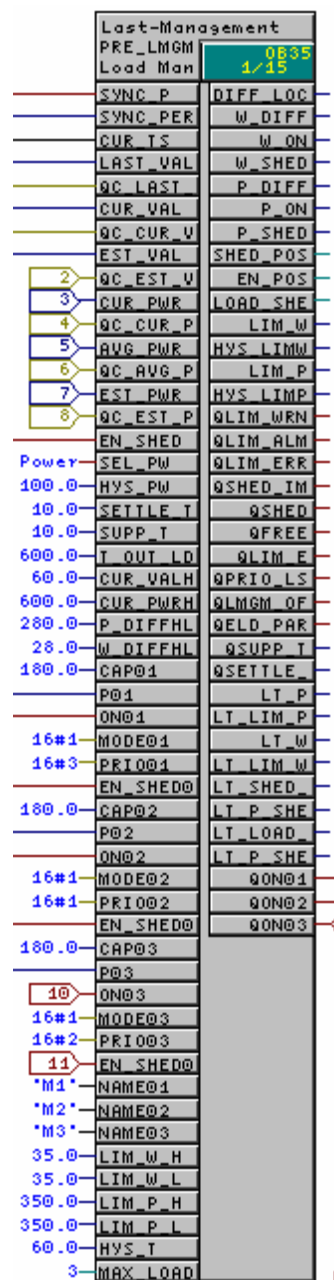


Abbildung 4-7: Baustein PRE_LMGM im CFC

Für die Sicherung der Konfiguration des Lastmanagements werden die WinCC Anwenderarchive verwendet, wobei die Konfiguration des Lastmanagements im Faceplate des Bausteins erfolgen muss und durch das Editieren und Abspeichern der Parameter in den einzelnen Ansichten, werden die Daten sowohl in die SPS als auch zu Dokumentationszwecken in die WinCC Anwenderarchive geschrieben.

4.2 Visualisierung mit WinCC

Für die Visualisierung der Simulationen und die Bedienung der Bausteine wird SIEMEN WinCC verwendet, was im Verbund mit PCS 7 und einer SPS die visuelle Darstellung und Steuerung technischer Prozesse ermöglicht, wobei die Visualisierung WinCC die Möglichkeit bietet, auch komplexe Prozesse in einer MMI darzustellen und somit Zugriffsmöglichkeit auf den mit PCS 7 geführten Prozess zu ermöglichen.

Die Bedienung der Bausteine erfolgt in WinCC über die zugehörigen Baustein-Bild-Symbole und deren Faceplates, für die bei der Installation von PCS 7 powerrate im WinCC Graphics Designer die entsprechenden Dateien mit den zugehörigen Bildsymbolen für die Bausteine PRE_SUM und PRE_LMGM angelegt werden.

Die Dateien enthalten die in Abbildung 4-8 und Abbildung 4-9 dargestellten Bildsymbole der Bausteine PRE_SUM und PRE_LMGM, wie sie in die für WinCC angefertigte MMI, wie in Abschnitt /6.5/ beschrieben, eingebunden wurden, wobei in diesem Falle beide Darstellungen aus der Entwurfsansicht im WinCC Graphics Designer stammen.



Abbildung 4-8: Bausteinsymbol PRE_SUM

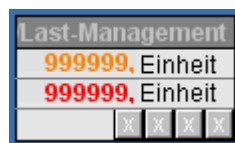


Abbildung 4-9: Bausteinsymbol PRE_LMGM

Die Symbole werden, bei Aktivierung der Option zur Erzeugung des Bausteinsymbols, bei der Übersetzung der Bausteine PRE_SUM und PRE_LMGM in CFC erzeugt und bei jedem weiteren Übersetzen inklusive ihrer Verknüpfungen zu den Variablen aktualisiert.

Im Abschnitt /4.3/ soll ein Überblick über die verwendeten Baustein-Symbole der Funktionsbausteine PRE_SUM und PRE_LMGM und deren Bedienung gegeben werden. Eine ausführliche Beschreibung der Bausteine mit ihrem Verhalten und Bedienung kann den Quellen [SIE09a], [SIE09b] und [SIE10] entnommen werden.

4.3 Bedienung der Bausteine

Die Bedienung der Bausteine erfolgt über entsprechende Faceplates, die durch erstmaliges Klicken auf das jeweilige Bausteinsymbol PRE_SUM oder PRE_LMGM aufgerufen werden. Über allen Faceplates der beiden Bausteine findet sich die in Abbildung 4-10 dargestellte Sammelanzeige.



Abbildung 4-10: Sammelanzeige

Auf der Sammelanzeige werden Warnungen und Alarmer im Zusammenhang mit den Bausteinen PRE_SUM und PRE_LMGM optisch in als blinkende Felder dargestellt, wobei diese zusätzlich als Klartext-Meldungen gespeichert und angezeigt werden, wie es im folgenden Abschnitt im Zusammenhang mit dem Faceplate *Meldungen* beschrieben wird. Alle Alarmer und Meldungen können mit dem Häkchen-Symbol rechts quittiert werden.

4.3.1 Baustein PRE_SUM

Im nachfolgenden Abschnitt sollen die Faceplates des Bausteins PRE_SUM im Überblick dargestellt werden. Für detaillierte Informationen zu den einzelnen Faceplates können die Quellen [SIE09a], [SIE09b] und [SIE10] heran gezogen werden.

Faceplate Standard

Beim erstmaligem Aufruf des Bausteins über das Bildsymbol, erscheint das in Abbildung 4-11 dargestellte Faceplate *Standard*, das auf einen Überblick generelle Informationen zum Lastmanagement bereitstellt. Auf der Oberfläche werden die

aktuellen Energie- und Leistungswerte abgebildet, wobei die angezeigten Werte von der gewählten und in Abschnitt /4.1.2/ beschriebenen Signalart abhängig sind.

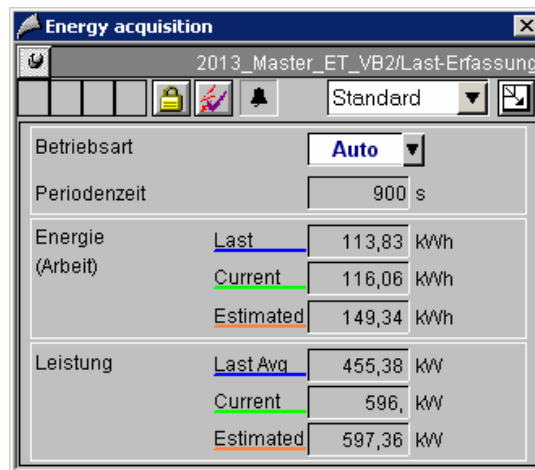


Abbildung 4-11: Faceplate Standard PRE_SUM

Mit der Verwendung von Signalart 3 (Berechnung) in der Simulation werden im Feld *Energie (Arbeit)* und im Feld *Leistung* die gezeigten Werte dargestellt und das Faceplate zeigt als Information zusätzlich die Periodenzeit an.

Weiterhin bietet das Faceplate die Möglichkeit die Betriebsart zwischen den beiden Optionen *Auto* und *Manual* umzuschalten. Die Betriebsart *Manual* würde über das Faceplate *Eingabe* die manuelle Eingabe von Werten als Leistungswerte erlauben. Für beide Simulationen konnte aufgrund der Signalart 3 ausschließlich die Betriebsart *Auto* genutzt werden.

Faceplate Eingabe

Über das Faceplate *Eingabe* lassen sich manuell Werte eingeben, wenn am Baustein PRE_SUM die Eingabeart *Manuell* aktiviert ist, was wie in Abschnitt /4.1.2/ beschrieben, lediglich in den Signalarten 1 und 2 möglich ist, so dass in den Simulationen diese Option aufgrund der Verwendeten Signalart 3 nicht genutzt werden konnte, daher ist die Betriebsart für alle Simulationen auf *Auto* eingestellt.

Das in Abbildung 4-12 dargestellte Faceplate zeigt die Oberfläche daher inaktiv an.

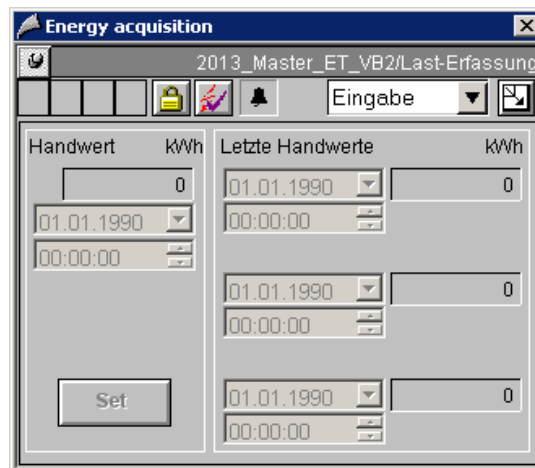


Abbildung 4-12: Faceplate Eingabe PRE_SUM

Das Faceplate soll hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt und gezeigt werden.

Faceplate Trend

Auf dem Faceplate *Trend* können die beiden Archiv-Variablen PRE_SUM.S bzw. PRE_SUM.V, auf die die beiden Messwerte geschrieben werden, als Verlauf über die Zeit dargestellt werden, wie es in Abbildung 4-13 am Beispiel des Faceplate *Trend* aus der Simulation Laststeuerung dargestellt wird.

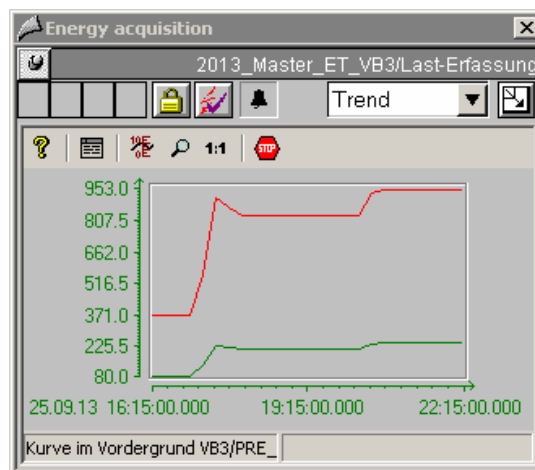


Abbildung 4-13: Faceplate Trend PRE_SUM

Standardmäßig erfolgt auf dem Faceplate die Anzeige der Messwerte für die letzten sechs Stunden, die PRE_SUM an das Tag Logging - Archiv von WinCC sendet, wobei im vorliegenden Beispiel die grüne Kurve den letzten archivierten, akkumulierten

Energiewert zum Synchronperiode (LAST_VAL) repräsentiert und damit der Variablen PRE_SUM.S im Archiv von WinCC entspricht.

Die rote Kurve repräsentiert die durchschnittliche Leistung zum Ende der Synchronperiode (AVG_PWR) und entspricht der Variablen PRE_SUM.V im Archiv von WinCC. Die Kurven müssen bei jedem Aufruf manuell aktualisiert werden.

Faceplate Meldungen

Auf dem Faceplate *Meldungen* werden in Klartext die Warnungen und Alarme angezeigt, die der Baustein PRE_SUM unter der Laufzeit abstrahlt. Die Abbildung 4-14 zeigt das Faceplate Meldungen der Simulation Laststeuerung.

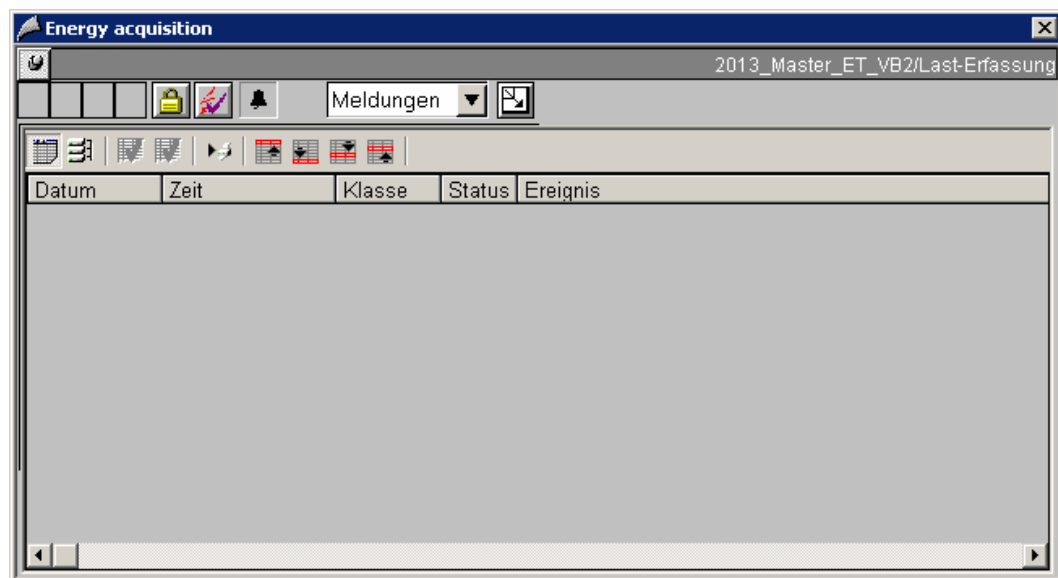


Abbildung 4-14: Faceplate Meldungen PRE_SUM

Der Baustein kann bis zu sechs Meldungen abstrahlen, die in [SIE09a] oder [SIE09b] beschrieben sind. Da es sich hierbei zumeist um Störungen in der Kommunikation, des Pufferspeichers oder der Parametrierung handelt, ist es schwierig diese zu reproduzieren, weil diese Art Alarme nur sporadisch auftreten.

Die mögliche Meldung 5 steht im Zusammenhang mit der Dateneingabe per Hand, diese konnte im Verlauf der Simulation nicht auftreten, da diese Betriebsart nicht genutzt wurde.

Faceplate Kreisbild

Das Faceplate *Kreisbild* bildet eine Möglichkeit zur Darstellung aller im Drop-Down Menü des Bausteins PRE_SUM abrufbaren Faceplates in einem gemeinsamen Faceplate. In Abbildung 4-15 ist das Kreisbild der Simulation Laststeuerung zu sehen.

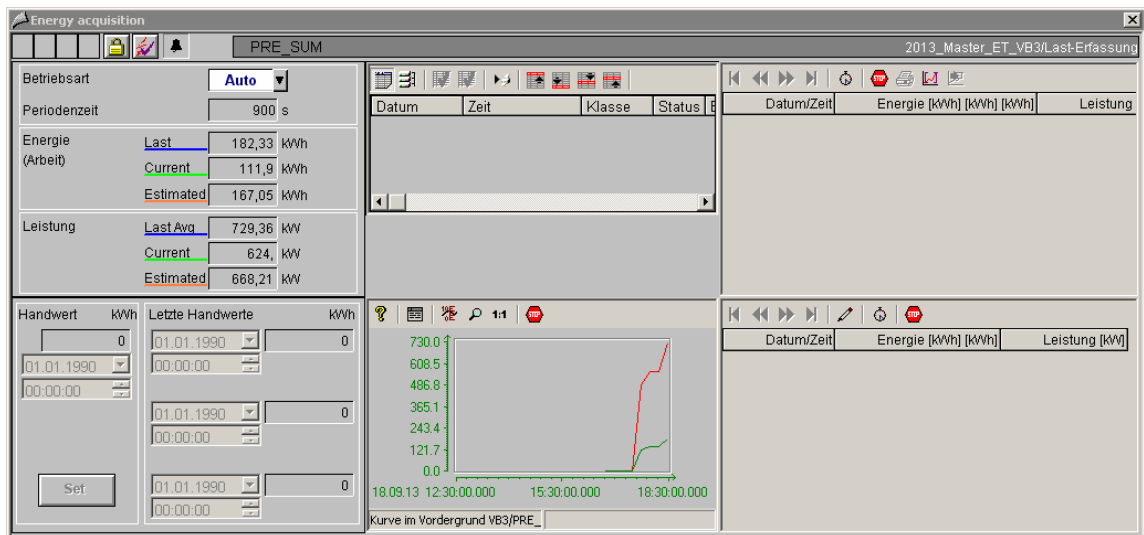


Abbildung 4-15: Faceplate Kreisbild PRE_SUM

Die Ansicht im Kreisbild kann genutzt werden, um einen Gesamtüberblick über das Verhalten des Bausteins PRE_SUM zu erhalten. Auf dem Kreisbild fallen die Einzelbilder allerdings recht klein aus, daher wurde es während der Simulation nur selten eingesetzt.

4.3.2 Baustein PRE_LMGM

Die Bedienung des Bausteins PRE_LMGM erfolgt analog zu der des Bausteins PRE_SUM über Faceplates, die sich durch Anklicken des Bildsymbols auf der MMI öffnen und im nachfolgenden Abschnitt analog zu den Faceplates des Bausteins PRE_SUM im Überblick dargestellt und beschrieben werden sollen.

Für detaillierte Informationen zu den einzelnen Faceplates können auch hier die Quellen [SIE09a], [SIE09b] und [SIE10] heran gezogen werden.

Faceplate Standard

Wird der Baustein erstmals über das Bildsymbol aufgerufen, erscheint analog zum Baustein PRE_SUM das in Abbildung 4-16 dargestellte Faceplate *Standard*, dass auf einen Überblick alle relevanten Werte zum Baustein PRE_LMGM bereitstellt.

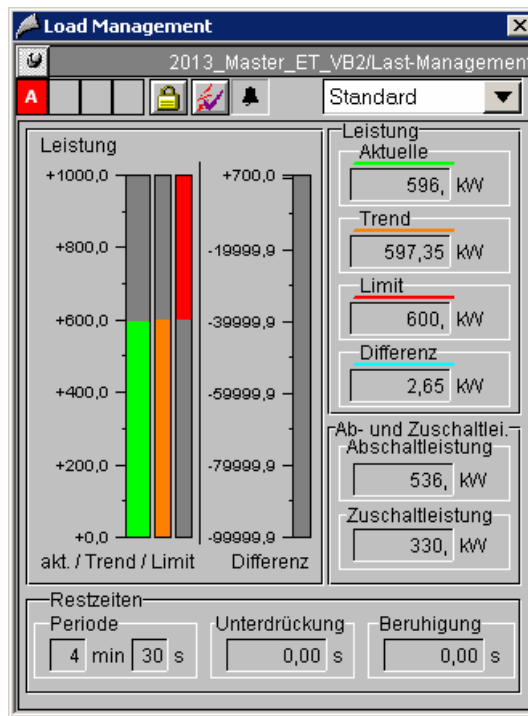


Abbildung 4-16: Faceplate Standard PRE_LMGM

Auf dieser Oberfläche werden alle im Lastmanagement verwendeten Leistungswerte abgebildet, wobei die Leistungswerte im Feld *Leistung* sowohl als Zahlenwert als auch in einer Balkendarstellung angezeigt werden. Im Gegenzug dazu werden die Leistungswerte *Ab- und Zuschaltleistung* als reiner Zahlenwert angezeigt.

Der im Bereich *Limit* angezeigte Wert des Leistungslimits wird auf dem Faceplate *Tarife* definiert und mit Hilfe des dort eingestellten Limits und dem berechneten Leistungswert im Bereich *Trend* wird der im Bereich *Differenz* dargestellte Leistungswert errechnet.

Des Weiteren werden die drei für das Lastmanagement relevanten Zeitwerte *Periode* und die auf dem Faceplate *Parameter* eingestellten Werte für *Unterdrückung* und *Beruhigung* im Bereich *Restzeiten* des Faceplates angezeigt.

Faceplate Arbeit

Das Faceplate *Arbeit* stellt eine zeitlich abhängige Darstellung des Faceplates *Standard* dar, bei dem die Leistungswerte aus dem Faceplate *Standard* anhand der eingestellten Synchronperiode auf die Zeit umgerechnet angezeigt werden, wie es in Abbildung 4-17 dargestellt wird.

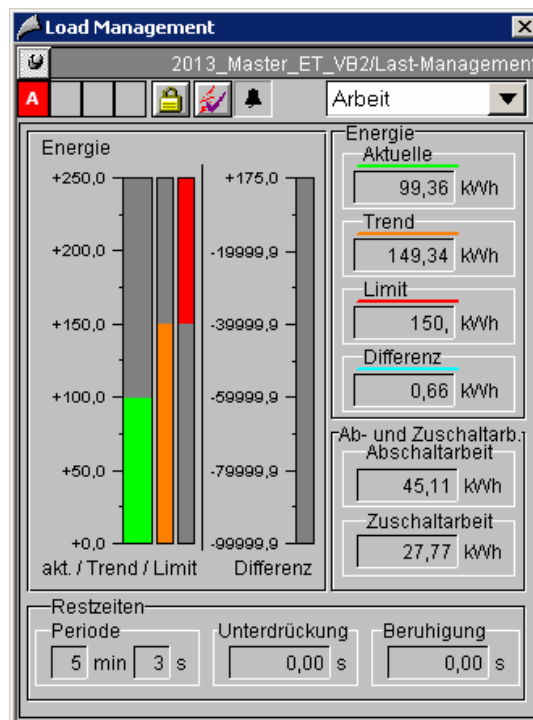


Abbildung 4-17: Faceplate Arbeit PRE_LMG

Aufgrund der Synchronperiode von 15 min, ergibt sich der Zahlenwert der Energie zu einem Viertel des Zahlenwertes der Leistung. Die Aufteilung der Angezeigten Werte und Balken ist analog zu denen im Faceplate *Standard*, mit dem Unterschied, dass die Felder bezogen auf die *Energie* dargestellt werden, wobei der auf dem Faceplate angezeigte Wert des Energielimits über das Faceplate *Tarife* definiert werden muss.

Unabhängig von den Einstellungen und der Umrechnung der Leistungen in Energiewerte bleiben die Anzeigen der Restzeiten auf dem Faceplate, so dass hierfür die gleichen Aussagen wie zum Faceplate *Standard* gelten.

Faceplate Parameter

Über das Faceplate *Parameter* wird es dem Anwender, nach Aktivierung der Schaltfläche [Editieren] im Bereich *Eigenschaften bearbeiten*, ermöglicht, für das LMGM relevante Parameter einzugeben und die neuen Einstellungen können über die Schaltfläche [Speichern] auf die SPS geschrieben werden. Die Abbildung 4-18 zeigt die Parametereinstellungen, wie sie für beide Simulationen verwendet wurde.



Abbildung 4-18: Faceplate Parameter PRE_LMGM

Im Bereich *Art des Limits* kann der Anwender auswählen, ob das Lastmanagement einen Leistungs- oder Energiewert als Grenzwert nutzen soll, während im Bereich *Dämpfung* die Unterdrückungszeit und Werte einer Hysterese zur Beruhigung der Regelung einstellbar sind.

Des Weiteren können im Bereich *Meldegrenzen bei Limitüberschreitung* die relativen Grenzwerte für Warnung oder Alarm definiert werden, zusätzlich zu den Zeiteinstellungen im Bereich *Beruhigungszeit*, wobei auch hier die *Periodenzeit* nur ablesbar ist, weil dieser Wert am Baustein PRE_SYNC im CFC projiziert werden muss.

Faceplate Balkenparameter

Auf dem Faceplate *Balkenparameter* wird es dem Anwender ermöglicht Balkendarstellung auf den Faceplates Standard und Arbeit den Gegebenheiten anzupassen, wie in Abbildung 4-19 dargestellt. Auch auf diesem Faceplate sind angezeigten und einzugebenden Größen auf mehreren Breichen gruppiert angeordnet.

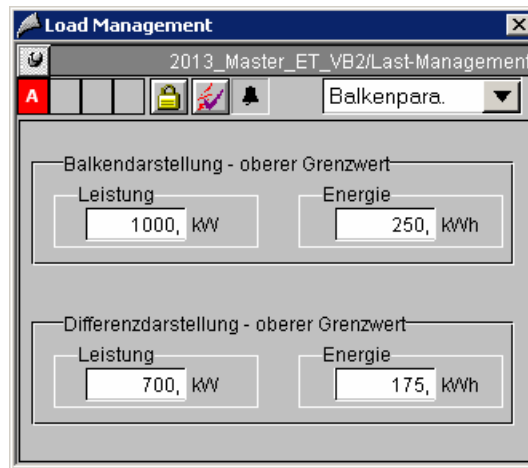


Abbildung 4-19: Faceplate Balkenparameter PRE_LMGM

Auf dem Feld *Balkendarstellung – oberer Grenzwert* kann der Endwert der jeweiligen Balkenanzeige für Leistung und Energie festgelegt werden und im Feld *Differenzdarstellung – oberer Grenzwert* können die Endwerte des Balkens für die Differenzdarstellung der Leistung und der Energie eingestellt werden.

Die vier Felder können individuell beschrieben werden, denn der beschriebene zeitliche Zusammenhang zwischen den Leistungs- und der Energiewerten kommt hier nicht zum Tragen.

Faceplate Tarife

Das Faceplate *Tarife* ermöglicht dem Anwender, wie in Abbildung 4-20 dargestellt, die Definition verschiedener Tarife (Limits), welche der Berechnung der auf den Faceplates Standard oder Arbeit angezeigten Leistungs- als auch Energiedifferenzen dienen.

Die angezeigten und einzugebenden Größen sind der Übersichtlichkeit halber auch bei diesem Faceplate auf mehreren Breichen gruppiert angeordnet.

Zur Information werden im Bereich *Aktueller Tarif* die beiden Werte für Leistung oder Energie des aktuell aktiven Tarifs angezeigt.

The screenshot shows the 'Load Management' window with the following sections:

- Aktueller Tarif:** Displays 'Leistung' (600, kW) and 'Energie' (150, kWh).
- Eigenschaften bearbeiten:** Contains 'Editieren' and 'Speichern' buttons.
- Tagtarif:** Includes time ranges 'von 06:00:00' to 'bis 22:00:00' and corresponding 'Leistung' (600, kW) and 'Energie' (150, kWh) values.
- Nachttarif:** Includes time ranges 'von 22:00:00' to 'bis 06:00:00' and corresponding 'Leistung' (600, kW) and 'Energie' (150, kWh) values.
- Feiertagstarif:** Includes 'Leistung' (0, kW) and 'Energie' (0, kWh) values, a 'Tarif aktiv' checkbox (checked), and 'Anzahl Feiertage' (0 d).

Abbildung 4-20: Faceplate Tarife PRE_LMGM

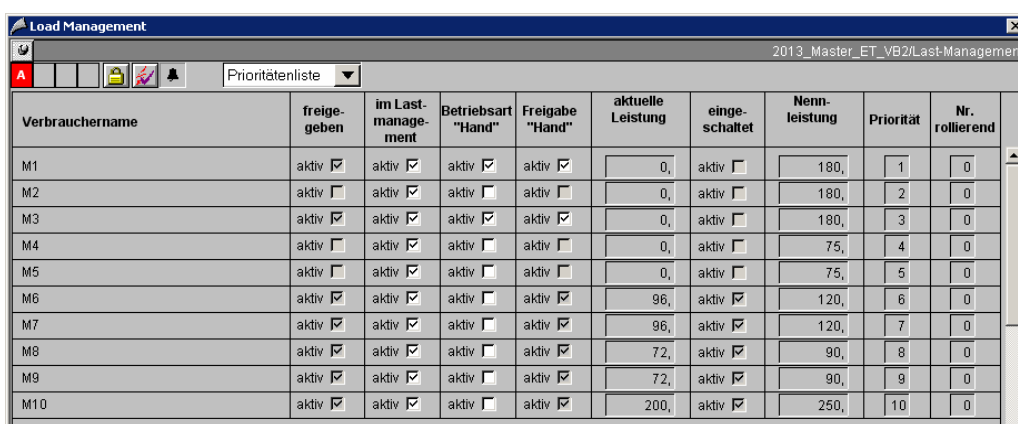
Über den Bereich *Eigenschaften bearbeiten* kann der Anwender nach aktivieren über die Schaltfläche [Editieren] alle Einstellungen, abhängig von der Einstellung unter *Art des Limits* auf dem Faceplate *Parameter* (Leistung oder Energie), im Zusammenhang mit den jeweiligen Tarifen vornehmen.

In den Bereichen *Tagtarif* und *Nachttarif* können zwei verschiedene, für eine jeweilige Zeit gültige, Tarife eingestellt werden. Mit der Eingabe des jeweiligen Wertes (Leistung bzw. Energie) wird der jeweilig andere Wert (Energie bzw. Leistung) automatisch anhand der eingestellten Synchronperiode ausgefüllt. Bei der Einstellung der zugehörigen Uhrzeiten wird nur das Feld der Startzeit aktiv, aufgrund dessen, dass die Endzeit immer gleich der Startzeit des jeweilig anderen Tarifs ist.

Im Bereich *Feiertagstarif* wird dem Anwender die Eingabe eines dritten Tarifs ermöglicht, der z.B. im Zuge von Feiertagen zur Anwendung kommen kann.

Faceplate Prioritätenliste

Über das Faceplate *Prioritätenliste* wird dem Anwender in sofern die Bedienung des Lastmanagements ermöglicht, indem er Einfluss auf die Zu- und Abschaltung der Verbraucher nehmen kann und Informationen über die Einstellungen und den jeweiligen Status der Verbraucher bekommt, wie in Abbildung 4-21 dargestellt.



Verbrauchername	freigegeben	im Lastmanagement	Betriebsart "Hand"	Freigabe "Hand"	aktuelle Leistung	eingeschaltet	Nennleistung	Priorität	Nr. rollierend
M1	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	0,	aktiv <input type="checkbox"/>	180,	1	0
M2	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input type="checkbox"/>	aktiv <input type="checkbox"/>	0,	aktiv <input type="checkbox"/>	180,	2	0
M3	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	0,	aktiv <input type="checkbox"/>	180,	3	0
M4	aktiv <input type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input type="checkbox"/>	aktiv <input type="checkbox"/>	0,	aktiv <input type="checkbox"/>	75,	4	0
M5	aktiv <input type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input type="checkbox"/>	aktiv <input type="checkbox"/>	0,	aktiv <input type="checkbox"/>	75,	5	0
M6	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	96,	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	120,	6	0
M7	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	96,	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	120,	7	0
M8	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	72,	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	90,	8	0
M9	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	72,	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	90,	9	0
M10	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	aktiv <input type="checkbox"/>	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	200,	aktiv <input checked="" type="checkbox"/>	250,	10	0

Abbildung 4-21: Faceplate Prioritätenliste PRE_LMGM

In der Tabelle werden alle Anzeigegrößen, die nicht über eine aktive Check-Box beeinflussbar sind, über das Faceplate *Edit Priolist* beeinflusst, dabei umfassen sie aktiven und vom Anwender nutzbaren Check-Boxen die Spalten *im Lastmanagement*, *Betriebsart "Hand"* und *Freigabe "Hand"* bei denen zu beachten ist, dass die Checkbox *Freigabe "Hand"* erst dann aktiv wird, wenn im Vorfeld die Check-Box *Betriebsart "Hand"* aktiviert wurde.

Dagegen zeigen die Check-Boxen *freigegeben* bzw. *eingeschaltet* den Status des Verbrauchers an, d.h. ob der Verbraucher aktuell vom Lastmanagement frei gegeben ist bzw. ob der Verbraucher zum jeweiligen Zeitpunkt tatsächlich eingeschaltet ist.

Eine zusätzliche Anzeige zum Faceplate Prioritätenliste ist das in Abbildung 4-22 dargestellte Fenster *Verbraucherdetails*. Hierbei handelt es sich nicht um ein Faceplate im Sinne der übrigen Faceplates des Bausteins PRE_LMGM, sondern mehr um eine Zusatzinformation zum Faceplate Prioritätenliste.

Abbildung 4-22: Faceplate Verbraucherdetails PRE_LMGM

Das Fenster Verbraucherdetails wird durch Anklicken des jeweiligen Verbrauchers im Faceplate *Prioritätenliste* aktiviert und zeigt weitere Einstellungen bzgl. des Verbrauchers an, die auf dem Faceplate *Edit Priolist* definiert werden können. Zusätzlich wird im Bereich *Verbraucherart* dargestellt, auf welche Art der Verbraucher vom Lastmanagement erfasst wird.

Faceplate Edit Priolist

Über das Faceplate *Edit Priolist* ist es möglich alle die Verbraucher betreffenden veränderbaren Einstellungen von der SPS zu lesen, diese Einstellungen zu ändern und im Anschluss geschlossen für alle Verbraucher zurück auf die SPS zu schreiben, wie es in Abbildung 4-23 dargestellt ist.

	Verbraucher	Modus	Nennleistung	min. Einschaltzeit [s]	min. Ausschaltzeit [s]	max. Ausschaltzeit [s]	Priorität	Nr. rollierend
1	M1	1	180	0	0	0	1	0
2	M2	1	180	0	0	0	2	0
3	M3	1	180	0	0	0	3	0
4	M4	1	75	0	0	0	4	0
5	M5	1	75	0	0	0	5	0
6	M6	1	120	0	0	0	6	0
7	M7	1	120	0	0	0	7	0
8	M8	1	90	0	0	0	8	0
9	M9	1	90	0	0	0	9	0
10	M10	1	120	0	0	0	10	0
11	Verbraucher11	n	n	n	n	n	n	n

Abbildung 4-23: Faceplate Edit Prioritätenliste PRE_LMGM

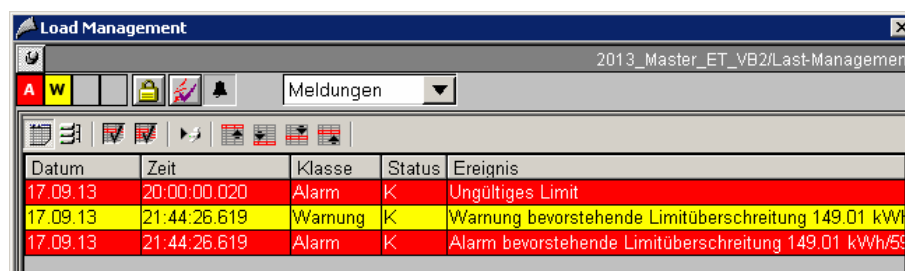
Nach dem Aufruf des Faceplates kann über die Schaltfläche *Laden aus PLC* die aktuelle Konfiguration von der SPS gelesen werden, unabhängig davon, ob es vor oder nach dem Aktivieren der Schaltfläche *Editieren* geschieht.

Wird die aktuelle Konfiguration geladen, kann entweder diese nach Aktivierung der Schaltfläche *Editieren* geändert werden oder es kann ohne Rücklesen eine neue Konfiguration mit ihren Einstellungen erstellt und mit der Schaltfläche *Speichern* auf die SPS geschrieben werden, wodurch auch die Einstellungen und Anzeigen verändert werden, die auf dem Bereich *Status Lastmanagement* der in Abschnitt /6.5/ beschriebenen MMI angezeigt werden.

Faceplate Meldungen

Auf dem Faceplate *Meldungen* werden die Warnungen und Alarmer in Klartext angezeigt, die der Bausteins PRE_LMGM abstrahlen kann und die Abbildung 4-24 dargestellt zusehen sind, wobei diese gleichzeitig das Setzen eines entsprechenden Fehlerbits am Ausgang des Bausteins bewirken.

Insgesamt kann der Baustein PRE_LMGM bis zu elf Meldungen abstrahlen, die in [SIE09a] und [SIE09b] detailliert dargestellt werden.



Datum	Zeit	Klasse	Status	Ereignis
17.09.13	20:00:00.020	Alarm	K	Ungültiges Limit
17.09.13	21:44:26.619	Warnung	K	Warnung bevorstehende Limitüberschreitung 149.01 kWh
17.09.13	21:44:26.619	Alarm	K	Alarm bevorstehende Limitüberschreitung 149.01 kWh/5

Abbildung 4-24: Faceplate Meldungen PRE_LMGM

Im Gegensatz zu den Meldungen des Bausteins PRE_SUM sind die hier beschriebenen Meldungen regelmäßig und relativ leicht zu reproduzieren, wie die im vorliegenden Bild dargestellten zwei Meldungen der Leistungsüberwachung, die immer dann ausgelöst werden, wenn die Warn- bzw. Alarmschwelle für die aufgenommene Leistung überschritten wird.

Diese Warnungen und Alarme werden auch dann generiert, wenn das Lastmanagement an sich inaktiv ist, weil auch dabei das Monitoring jederzeit aktiv bleibt und so die passenden Warnungen und Alarme ausgelöst werden können.

Faceplate Konfiguration

Über das Faceplate *Konfiguration* wird dem Anwender das Exportieren bzw. Importieren der Konfiguration, mit den auf dem Faceplate *Edit Priolist* gemachten Einstellungen, für das Lastmanagement ermöglicht, wodurch alle Einstellungen aus der SPS in eine Datei auf der Simatic PC-Station bzw. aus einer Datei auf der Simatic PC-Station in die SPS geschrieben werden, wobei die angezeigten und einzugebenden Größen in einer Tabelle, ähnlich einem Excel-Sheet, wie Abbildung 4-25 beispielhaft zu sehen ist, angeordnet sind.

Nr.	Datum und Uhrzeit	Bezeichnung	Bezeichner Wert	Verbraucher	Modus	Nennleistung	min. Einschalt	min. Ausschalt	max. Ausschalt	Priorität	Nr. rollierend
1889	29.08.2013 16:14.4	Start der Konfiguration									
1890	29.08.2013 17:49.1	Abschluss der Konfiguration									
1891		Startzeit des Hochtarifs	06:00:00								
1892		Startzeit des Niedertarifs	22:00:00								
1893		Leistungsgrenzwert für Hochtarif [kW]	600.00								
1894		Arbeitsgrenzwert für Hochtarif [kWh]	150.00								
1895		Leistungsgrenzwert für Niedertarif [kW]	600.00								
1896		Arbeitsgrenzwert für Niedertarif [kWh]	150.00								
1897		Leistungsgrenzwert für den Feiertags	0.00								
1898		Arbeitsgrenzwert für Sonn- und Feiertag	0.00								
1899		Selektor für Arbeit-0 / Leistung=1	1.00								
1900		Freigabe des Lastabwurfs	0.00								
1901		Beruhigungszeit nach Lastabwurf oder	10.00								
1902		Warngrenze bei Limitüberschreitung [%]	75.00								
1903		Alarmgrenze bei Limitüberschreitung [%]	95.00								
1904		Startwert der Hysterese [%]	100.00								
1905		Zeitbereich der Hysterese [s]	10.00								
1906		Unterdrückungszeit zum Periodenstart	10.00								
1907				M1	1	180.00	0.00	0.00	0.00	1	0
1908				M2	1	180.00	0.00	0.00	0.00	2	0
1909				M3	1	180.00	0.00	0.00	0.00	3	0
1910				M4	1	75.00	0.00	0.00	0.00	4	0
1911				M5	1	75.00	0.00	0.00	0.00	5	0
1912				M6	1	120.00	0.00	0.00	0.00	6	0
1913				M7	1	120.00	0.00	0.00	0.00	7	0
1914				M8	1	an nn	nn nn	nn nn	nn nn	8	nn

Abbildung 4-25: Faceplate Konfiguration PRE_LMG

Eventuelle Änderung an der Konfiguration können auf diesem Faceplate nicht durchgeführt werden, diese müssen auf den beschriebenen Faceplates *Parameter*, *Tarife* und *Edit Priolist* vorgenommen werden, demnach dient das Faceplate *Konfiguration* lediglich der Verwaltung und/oder Archivierung der verwendeten verschiedenen Konfigurationen des Lastmanagement.

5 Umfang der Simulationen

Für eine Bewertung der Entscheidungen und des Verhaltens des Systems Simatic PCS 7 powerrate sollen für die Simulation möglichst entsprechende Lasten definiert werden, wie sie in einer realen elektrischen Anlage vorkommen können und um dies zu gewährleisten wurden der Umfang der zu simulierenden Vorgänge, die mit dem automatischen Lastmanagement beherrscht werden sollen, auf zwei in der Praxis relevante Szenarien definiert. Eine Beschreibung der technischen Umsetzung als Programmierung in CFC für die SPS ist in den Abschnitten /6.2/ und /6.3/ zu finden.

5.1 Definition der Simulationen

Bevor in den folgenden Kapiteln auf die technische Umsetzung der Simulationen eingegangen werden kann, soll eine grundlegende Definition für beide Arten der Steuerung erstellt werden, wobei für die Bewertung des Verhaltens des Lastmanagements zwei Szenarien ausgewählt wurden, die möglichst realitätsnah eine potentielle Anwendung darstellen können.

Diese Szenarien werden in weiteren Verlauf wie folgt bezeichnet und ihr Umfang wie folgt definiert:

Laststeuerung: *Laststeuerung bedeutet in einer statischen Anlage den bzw. automatisierten Lastabwurf bzw. die automatisierte Lastaufnahme der Verbrauchern in Abhängigkeit des gegebenen Limits (Tarif) und den gesetzten Prioritäten durch das Lastmanagement.*

Anlaufsteuerung: *Anlaufsteuerung bedeutet zusätzlich zu den Funktionen der Laststeuerung die Erweiterung um eine Einschaltsequenz bei Anlauf der Anlage, mit der leistungsstarke Verbraucher nach einander ans Netz gebracht werden sollen, um eine Tarifüberschreitung zu verhindern. Während dem Anlauf eines dieser Verbraucher muss der Start der anderen zurück gestellt werden können.*

5.2 Verbraucherauswahl

Um das Verhalten des Lastmanagements zu ermitteln und die Verfahrensweisen zu erkennen, soll eine Anlage mit verschiedenen großen Verbrauchern unterschiedlicher Art simuliert werden und die Verbraucher typisch für einen heute typischen Prozess ausgewählt sind.

Dargestellt werden die Verbraucher in beiden Simulationen mehrheitlich als Motorische und Ohmsche Verbraucher, aufgrund von zwei an der Praxis orientierter Gründe:

1. Der Drehstrommotor stellt zusammen mit ohmschen Verbrauchern die Mehrheit der elektrischen Verbraucher in Industrie und finden sich in großen Stückzahlen sowohl im produktions- wie auch gebäudetechnischen Einsatz.
2. Der verwendete Aufbau stellt bereits drei Drehstrommotoren zur Verfügung.

Um den Drehstrommotor in der Simulation realitätsnah einzusetzen, muss beachtet werden, dass in der Antriebstechnik ein direkt gestarteter Motor nicht mit seiner Bemessungsleistung betrieben wird. Die Motoren sind auf einen Arbeitspunkt projektiert und durch Berücksichtigung der Einsatzbedingungen überdimensioniert und die Bemessungsleistung ist somit größer als die geforderte Leistung im Arbeitspunkt. Für die Simulation sollen die Bemessungsleistungen der Motoren der Standardreihe entsprechen und die geforderte Leistung muss vorab definiert werden.

Die drei in der Simulation verwendeten Motoren erreichen im Aufbau eine geforderte Leistung von ca. 130 kW bei einer Bemessungsleistung von 180 kW und damit eine Auslastung von ca. 72%, worauf auch die Auslastung der übrigen Motoren daran ausgerichtet und entsprechend festgelegt wurde und somit wird eine dazu passende fiktive geforderte Leistung an den Virtuellen Verbrauchern eingestellt und die Bemessungsleistung dann mittels eines Bausteins errechnet.

Im Gegensatz zu einem Motor belastet ein direkt gestarteter ohmscher Verbraucher das Netz mit seiner Bemessungsleistung, aufgrund dessen, dass bei dieser Art Verbraucher die Bemessungsleistung gleich der geforderten Leistung ist und somit erscheint er auch mit dieser im Lastmanagement.

In Tabelle 5-1 sind alle in den Simulationen verwendeten Verbraucher aufgelistet, dargestellt mit ihren eingestellten Bemessungsleistungen.

Lfd. Nr.	Last	P / kW	Lfd. Nr.	Last	P / kW
-	Offset 1	25	05	-M5	155
-	Offset 2	50	06	-M6	180
01	-M1	180	07	-R1	200
02	-M2	180	08	-R2	200
03	-M3	180	09	-R3	250
04	-M4	155	10	-M7	155

Tabelle 5-1: Verbraucher für Laststeuerung und Anlaufsteuerung

Zusammen stellen die in Tabelle 5-1 aufgeführten Verbrauchern als gesamte Bemessungsleistung für beide Simulation von *1960 kW* zur Verfügung, wobei die beiden Lasten Offset 1 und Offset 2 zusätzliche Lasten generieren, die den Verbrauch erhöhen, da beide über den Gesamtverbrauch vom Lastmanagement erfasst werden, aber von diesem nicht gesteuert werden können.

Die in beiden Simulationen eingesetzten Widerstände -R1 und -R2 stellen jeweils einen Verbraucher dar, der über die Einschaltdauer keine konstante Leistung aufnimmt, womit, wie in den Abschnitten /5.3/ und /5.4/ beschrieben, eine temporäre Überlast während der Anlaufzeit simuliert werden soll und um diese Überlast und den Anlaufvorgang darzustellen, wird die Leistung nach dem Einschalten zeitabhängig reduziert bis nach Ablauf der Zeit lediglich der Bemessungswert (Stand-By) aktiv bleibt, wie es anhand des Schema ist in Tabelle 5-2 dargestellt ist. Diese Einstellung wird in beiden Simulationen verwendet.

Schaltstufe	Stand-By	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
ED / min	Dauer	10	8	6	4	2
Leistung / kW	200	40	40	40	40	40

Tabelle 5-2: Zeitstaffelung der Leistungsstufen von –R1 und –R2

Die beiden Verbraucher -R1 und -R2 beinhalten somit sechs Stufen, von denen fünf zeitabhängig abgeschaltet werden. Die Umsetzung in der Programmierung ist in

den Abschnitten /6.2/ und /6.3/ erläutert, wobei das Verhalten der Verbraucher -R1 und -R2 dabei an Vorgänge in der chemischen Industrie angelehnt ist und z.B. das Aufheizen eines Mediums repräsentiert, das beim Start mit hoher Leistung auf Soll-Temperatur aufgeheizt und im weiteren Verlauf mit niedrigerer Leistung auf dieser gehalten wird, da nur noch ein Temperaturunterschied auszugleichen ist.

5.3 Simulation Laststeuerung

Das Ziel der Simulation ist der Test der Funktionsweisen des Lastmanagement und die Überprüfung einer realistischen Anwendbarkeit in der Prozesssteuerung unter betrieblichen Rahmenbedingungen. Hierfür ist das Lastmanagement im Gegensatz zu der in Abschnitt /5.4/ dargestellten Schaltung nicht durch eine externe Beschaltung beeinflusst. Alle Schalthandlungen werden allein vom Lastmanagement bestimmt.

5.3.1 Konzeption der Simulation

In der Simulation Laststeuerung sollen statisch mit verschiedenen großen motorischen und ohmschen Lasten in Form realer als auch virtueller Motoren und Widerständen erfolgen, ergänzt durch das Zusammenspiel mit variablen Verbrauchern in Form von virtuellen gestaffelt geschalteten Widerständen, siehe dazu auch Abschnitt /6.2/.

Über die Staffelung der Widerstände -R1 und -R2 sollen zusätzlich zeitabhängige Komponenten, wie z.B. temporäre Überlasten simuliert werden, die aufzeigen, ob und wie das Lastmanagement derartige Verbrauchern ohne weitere programmiertechnische Eingriffe handhabt und ob es diese Anforderungen beherrschen kann, daher werden mit den konstanten wie auch variablen Lasten festgelegte Lastbedingungen simuliert, um die Algorithmen und die Verfahrensweise hinter dem System zu testen, analysieren und bewerten zu können.

Der Einfluss einer gleichen Priorität für mehrerer Verbraucher inklusive der dann notwendigen Rollierung wurde mittels der Motoren -M1, -M2 und -M3, den Widerständen -R1 und -R2 bzw. dem Widerstand -R3 und Motor -M7 getestet. Eine Rollierung wird immer dann erforderlich, wenn die zu einer Priorität gehörenden Verbraucher nicht gruppenweise, d. h. zusammen, abgeschaltet werden sollen.

Zur Umsetzung der Simulation wurde die Tabelle 11-1 in Anlage E gezeigte Verbraucher-Zeit-Matrix mit den Startbedingungen bei Startzeit 0 aufgestellt. Über einen Zeitraum von ca. 180 min werden die Verbraucher -M4 bis -M6, -R1 bis -R3 und -M7 in einer festen Reihenfolge eingeschaltet und ins Lastmanagement übergeben.

Die verbleibenden Verbraucher -M1 bis -M3 werden in diesem Schema im Laufe des 15 min Rasters vom Anwender als Störgröße entsprechend zu- und abgeschaltet, und die entsprechenden Reaktionen des Lastmanagement werden in der gehörigen Matrix in Anlage F bzw. Anlage G protokolliert und dabei auftretende Fehlermeldungen und Handlungen des Anwenders, die alle Verbraucher betreffen, wurden Spalten übergreifend eingetragen.

Verbraucher	Priorität	Rollierung	Verbraucher	Priorität	Rollierung
-M1	2	1	-M6	5	0
-M2	2	2	-R1	6	1
-M3	2	3	-R2	6	2
-M4	3	0	-R3	1	1
-M5	4	0	-M7	1	2

Tabelle 5-3: Priorität und Rollierung der Verbraucher

Nach mehrmaligen Versuchen und Tests der Auswirkungen wurde letztlich der Tarif für beide Simulationen auf *1200 kW* definiert und für jeden Verbraucher der Simulationen eine entsprechende Priorität und, falls notwendig, die zugehörige Rollierung, wie in Tabelle 5-3 zusammengefasst, festgelegt.

5.3.2 Verbrauchergruppen

Im Folgenden werden zur besseren Übersicht die Verbraucherarten in Gruppen zusammengefasst und deren Einsatz und Funktion in der Simulation weiterführend beschrieben.

Verbrauchergruppe Motoren

Über die realen Motoren M1, -M2 und -M3 und die virtuellen Motoren -M4, -M5 und -M6 werden beliebige und frei einschaltbare Verbraucher simuliert, mit denen die

Abwurf- und Aufnahmeprinzipien des Lastmanagement überprüft werden sollen. Um das zu erreichen wurden ihre Prioritäten gem. Tabelle 5-3 festgelegt und ihr Zuschaltung und Abschaltung durch das Lastmanagement und den Anwender in einer Matrix nach Tabelle 11-1 dokumentiert.

Der Verbraucher -M2 wurde zum Test der Funktion Handbetrieb zeitweise im Lastmanagement verbleibend in den Handbetrieb versetzt. Damit konnte erreicht werden, dass auch dann eine entsprechende, nur durch den Anwender beeinflusste, Störgröße für den Test des Lastmanagement zur Verfügung stand, vor allem in den Fällen, dass andere Verbraucher durch das Lastmanagement bereits abgeschaltet waren.

Für den Test der Auswirkungen von Schaltzeiten, wurde der Motor -M7 so definiert, dass er nicht zeitunabhängig vom Lastmanagement geschaltet werden konnte. Dies stellt Verbraucher dar, die eine Mindestzeit in Betrieb sein müssen und nur eine Maximalzeit außer Betrieb sein dürfen. Zwischen den Arbeitszyklen wird eine Mindestruhezeit z.B. zur Abkühlung definiert. Um auf diese Weise definierte Ein- und Ausschaltbedingungen zu erhalten, wurden die zugehörigen Schaltzeiten werden wie folgt festgelegt:

- min. Einschaltzeit: 600 s
- min. Ausschaltzeit: 300 s
- max. Ausschaltzeit: 600 s

Verbrauchergruppe Widerstände

Die Widerstände -R1, -R2 und -R3 repräsentieren Ohmsche Verbraucher, z.B. Heizstäbe oder Boiler, bei denen die Widerstände -R1 und -R2 nicht beliebig frei zu- oder abschaltbare Verbraucher darstellen sollen. Alle drei Widerstände können vom Lastmanagement lediglich vor der Inbetriebnahme gesperrt werden, d.h. sofern sie bereits in Betrieb sind, können sie durch das Lastmanagement nicht mehr abgeschaltet werden. Zu diesem Zweck sind die Widerstände schaltungstechnisch verriegelt, wie in Abschnitt /6.2/ dargestellt.

Auch die Prioritäten der Widerstände wurden gem. Tabelle 5-3 festgelegt und ihre Zuschaltung und Abschaltung durch das Lastmanagement und den Anwender werden in einer Matrix gem. Tabelle 11-1 dokumentiert.

Wie bereits der Motor -M7 soll auch der Widerstand -R3 nicht zeitunabhängig vom Lastmanagement geschaltet werden können und von daher werden bei ihm die gleichen Bedingungen wie bereits bei Motor -M7 zugrunde gelegt. Um auch in diesem Fall definierte Ein- und Ausschaltbedingungen zu erhalten, werden auch hier die zugehörigen Schaltzeiten wie folgt festgelegt:

- min. Einschaltzeit: 600 s
- min. Ausschaltzeit: 300 s
- max. Ausschaltzeit: 600 s

5.4 Simulation Anlaufsteuerung

Ziel auch dieser Simulation ist der Test der Funktionen des Lastmanagement und die Überprüfung dieser auf realisierbare Anwendbarkeit in der Prozesssteuerung unter betrieblichen Rahmenbedingungen. Zusätzlich soll überprüft werden, in wieweit es notwendig ist, das Lastmanagement durch eine externe Beschaltung so zu ergänzen, dass die vom Anwender gewollte Funktionsumfang erreicht werden kann.

5.4.1 Konzeption der Simulation

Die Simulation Anlaufsteuerung arbeitet analog zu Laststeuerung mit gemischten ohmsch-induktiven Lasten konstanter Leistung in Form realer als auch virtueller Motoren und Widerständen, wie bereits in Abschnitt /5.3.1/ dargestellt, wobei zur Dokumentation der Simulationsergebnisse die gleiche Verbraucher-Zeit-Matrix aus Tabelle 11-1 mit den gleichen Startbedingungen wie für die Simulation Laststeuerung verwendet wurde. Die Ergebnisse und Reaktionen des Lastmanagement werden für die Simulation Anlaufsteuerung in Abschnitt /7.2/ ausgewertet.

Des Weiteren sind auch in der Simulation Anlaufsteuerung die Definition der Prioritäten und Rollierungen der Verbraucher identisch zu denen in der Simulation Laststeuerung

und auch die Verwendung der Verbraucher -M1 und -M3 als Störgrößen entspricht dem Vorgehen wie bei der Simulation Laststeuerung, bis auf eine wesentliche Änderung, die in der in Abschnitt /6.3/ dargestellten externen Beschaltung der Lastmanagement-Komponenten besteht, um ein Verhalten zu erzwingen, das das Lastmanagement von sich aus nicht zu leisten vermag.

5.4.2 Verbrauchergruppen

Für die Simulation Anlaufsteuerung werden die gleichen wie in Abschnitt /5.3.2/ definierten Verbrauchertypen für die Simulation Laststeuerung verwendet. Auch für diese Simulation gelten die gem. Tabelle 5-3 festgelegten Prioritäten und Rollierungen.

Abweichend von der Simulation Laststeuerung hat der Widerstand -R3 in der Simulation Anlaufsteuerung eine andere Beschaltung als in der Simulation Laststeuerung, welche in ihrer Realisierung in Abschnitt /6.3/ dargestellt ist und sicherstellen soll, dass er Widerstand -R3 vom Anwender erst dann eingeschaltet werden kann, wenn beide Widerstände -R1 und -R2 bereits vollständig "angelaufen" sind, d. h. beide Widerstände bis auf ihre Stand-By-Leistung zurückgefahren sind.

6 Programmierung in STEP 7

Die Programmierung der jeweiligen Simulation erfolgte in STEP 7 als CFC, in welchen neben Bausteinen aus den Standard-Bibliotheken und der IEC-Bibliothek die in Abschnitt /4.1/ beschriebenen Bausteine der Bibliothek powerrate verwendet wurden und zusätzlich wurde im Zuge der Simulation ein Funktionsbaustein zur Darstellung der virtuellen Verbraucher in AWL generiert, welcher in Abschnitt /6.1/ vorgestellt wird. Eine prinzipielle Übersicht über die Projektierung und die Datenflüsse in STEP 7 ist in Abbildung 6-1 dargestellt.

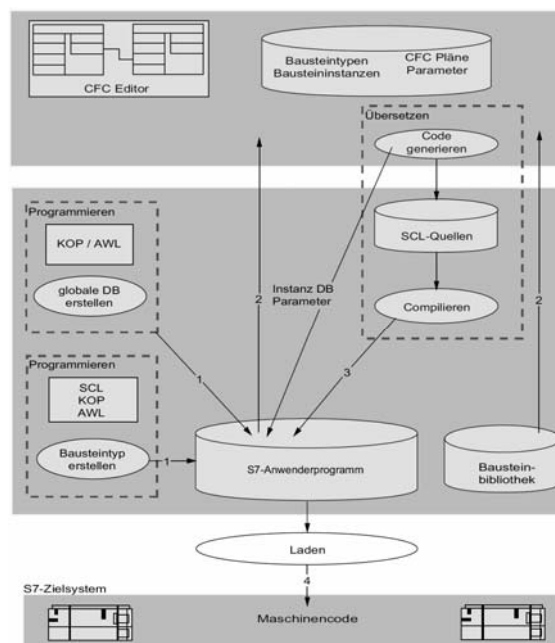


Abbildung 6-1: Datenfluss bei Projektierung in STEP 7 [SIE09c]

Die Programmierung in CFC ermöglicht die freie Anordnung der Bausteine innerhalb der Planoberfläche, wodurch z.B. alle Bausteine mit Datenverwendung und alle Systemfunktionen auf jeweils einem Blatt angeordnet werden können, wobei zur Unterscheidung die jeweiligen Verbindungen im CFC farblich dargestellt sind, d.h. logische Verknüpfungen, Datenverbindungen oder Zeiteninformation können anhand der Farbe unterschieden werden.

Auf diese Weise lassen sich mit CFC komplexe vom Anwender leicht verfolgbare programmtechnische Abläufe generieren, die neben logischen Verknüpfungen auch komplexe Datenverarbeitung beinhalten können, wobei hier die Programmierung der Simulationen auf das Testen des Lastmanagement mit powerrate ausgelegt wurde und eine detaillierte Beschreibung der Programmierung der jeweiligen Simulation in den Abschnitten /6.2/ und /6.3/ wiedergegeben wird.

6.1 Funktionsbaustein FB150

Für die Umsetzung der Simulationen wurden virtuelle Verbraucher in verschiedenen Leistungsstufen generiert, weshalb für diese Funktion ein zusätzlicher Funktionsbaustein generiert wurde. Dieser Baustein *FB150* ist in der Abbildung 6-2 als Darstellung des virtuellen Motor -M7 und des Widerstandes -R3 im CFC der Simulation Laststeuerung gezeigt.

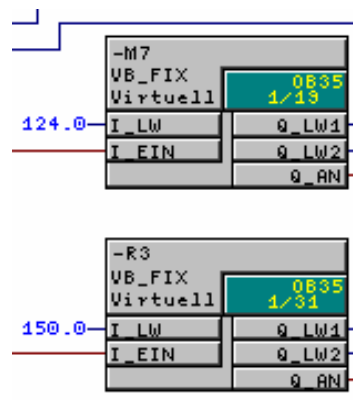


Abbildung 6-2: Baustein FB150 im CFC

Der Baustein wird in den Simulationen mehrfach zur Darstellung der Virtuellen Verbraucher eingesetzt, wobei die folgenden Verbraucher vollständig oder in Zusammensetzungen mit dem FB150 generiert werden:

- Virtuelle Motoren -M4, -M5, -M6 und -M7
- Virtuelle Heizelemente -R1, -R2 und -R3
- Die Sockelleistungen Offset 1 und 2

Das Programm des FB150 ist in AWL ausgeführt mit den Definitionen der Ein- und Ausgänge des Funktionsbausteins als Programmcode in Anlage D beigefügt. In der Programmierung haben die Ein- bzw. Ausgänge folgende Bedeutung:

- I_LW: Eingabe des geforderten Lastwertes
- I_EIN: Verbraucher Einschalten
- Q_LW1: unabhängige Ausgabe des Wertes an I_LW
- Q_LW2: Ausgabe des Wertes an I_LW, wenn I_EIN = 1
- Q_AN: Rückmeldung Verbraucher eingeschaltet

Der Baustein FB150 hat den symbolischen Name VB_FIX, was für "Virtueller Verbraucher mit Fixem Wert" steht. Die symbolische Bezeichnung beruht auf der Tatsache, dass es angedacht war auch einen "Virtuellen Verbraucher mit Variablen Wert" zu kreieren, dieses Vorhaben sich im Verlauf der Simulation jedoch als unnötig erwies, da ein variabler Verbraucher aus mehreren VB_FIX und entsprechenden Timern modelliert werden kann, wie z.B. in Anlage B auf Seite drei und vier des CFC zu erkennen ist.

6.2 Modellierung Laststeuerung

In diesem Kapitel sollen die Bausteine dargestellt werden, die spezifisch für die Umsetzung der Simulation sind und mit denen zusätzlich zu denen der powerrate Bibliothek gearbeitet wurde, um die Funktionsweise des Lastmanagements zu überprüfen, wofür es nicht nur alle Bausteine zur Darstellung der Verbraucher, zur Beschaltung des Lastmanagement und zur Modellierung der Verbraucher im CFC beinhaltet, sondern auch alle Bausteine zur Datenanpassung und zur logischen Verknüpfung des Lastmanagements mit der externen Beschaltung.

Die Modellierung der Simulation gestaltet sich vor allem durch den Aufbau der Widerstände -R1 und -R2 mit mehreren zeitabhängigen Leistungsstufen recht umfangreich, weil jeder der modellierten Verbraucher bereits eine Seite des CFC einnimmt. Der vollständige CFC für die Simulation Laststeuerung ist aus diesem Grunde separat im Anlage B dargestellt.

6.2.1 Logikbausteine

Die Logikbausteine *AND* und *OR* ermöglichen die Verschaltung und Verriegelung der Verbraucher untereinander und ermöglichen zudem den Eingriff des Lastmanagement in den Schaltzustand, indem so die Freigaben und Sperren seitens des Lastmanagement berücksichtigt werden. Die Abbildung 6-3 bzw. Abbildung 6-4 zeigt die Logikbausteine AND bzw. OR für den Start des Motors -M1 bzw. den Selbsthalt des Widerstands -R1.

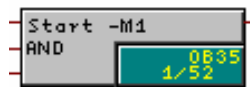


Abbildung 6-3: Logikbaustein AND im CFC



Abbildung 6-4: Logikbaustein OR im CFC

Die Logikbausteine können durch den Anwender auf bis zu 120 Anschlüsse erweitert werden, von denen in der Simulation i. d. R. zwei bis vier genutzt wurden.

6.2.2 Divisionsbaustein

Der Divisionsbaustein *DIV_R* ist ein arithmetischer Baustein ohne Einfluss auf die Beschaltung der Simulation, da dessen Funktion lediglich die Anpassung der Leistungen der Motoren ist, bei der der Baustein aus der am Baustein FB150 eingestellten geforderten Leistung mittels Berechnung die Bemessungsleistung zur Weitergabe an den Baustein PRE_LMGM errechnet.

Die Abbildung 6-5 zeigt den Baustein DIV_R für Anpassung der Eingangswerte für Motor -M4 mit einem Auslastfaktor von 0,72.

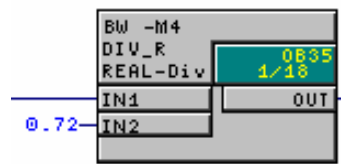


Abbildung 6-5: Divisionsbaustein DIV_R im CFC

Die Division $OUT = IN1 / IN2$ realisiert die Anpassung der Bemessungsleistung auf den richtigen Wert unter der Voraussetzung, dass $IN1 = \text{geforderte Leistung}$, $IN2 = \text{Auslastfaktor}$ und $OUT = \text{Bemessungsleistung}$ eingegeben wird.

6.2.3 Wandlerbaustein

Der Wandlerbaustein *DW_R* ermöglicht die Anpassung der Byte-Strings, mit denen die Messwerte des PAC3200 übertragen werden, auf Realformat-Daten zur weiteren Verarbeitung im Baustein PRE_SUM. In Abbildung 6-6 ist einer der Wandlerbausteine für die Datenanpassung des Motors -M1 dargestellt.

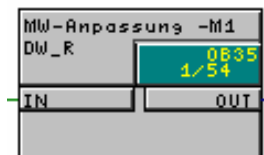


Abbildung 6-6: Wandlerbaustein DW_R im CFC

Die Wandlung erfolgt von Double Word in Real-Format, wobei nur der aus dem Bytestring ermittelte einheitenlose Zahlenwert an den Baustein PRE_SUM übergeben wird und die Definition der Einheit am Baustein PRE_SUM erfolgt.

6.2.4 Addierbausteine

Die Addierbausteine *ADD4_P* bzw. *ADD8_P* dienen der Summation aller Leistungswerte für die Messwerterfassung mit dem Baustein PRE_SUM bzw. der Zusammenfassung der Leistungsstufen der Widerstände -R1 und -R2, wofür insgesamt

drei ADD4_P verwendet werden, welche die Summation der Verbraucher wie folgt ausführen:

- Summation von -M1, -M2, -M3 und Offset1
- Summation von -M4,-M5, -M6 und Offset 2
- Summation von -R1, -R2, -R3 und -M7

Von den Bausteinen ADD8_P werden nur jeweils zwei Stück für die Summation der Leistungsstufen der Widerstände -R1 und -R2 einmal für die tatsächliche Leistung und einmal für die Bemessungsleistung eingesetzt.

Die Abbildung 6-7 bzw. Abbildung 6-8 zeigt den Baustein ADD4_P bzw. ADD8_P der Summation von -M1, -M2, -M3 und Offset1 bzw. der Summation der Leistungsstufen des Widerstandes -R1.

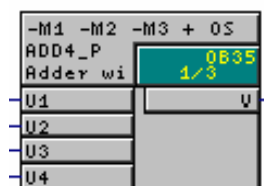


Abbildung 6-7: Addierbaustein ADD4_P im CFC

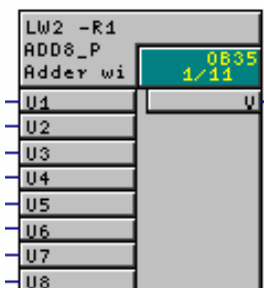


Abbildung 6-8: Addierbaustein ADD8_P im CFC

Die Summation erfolgt nach dem Schema $V = U1 + U2 + U3 + U4$ für den Baustein ADD4_P bzw. $V = U1 + U2 + U3 + U4 + U5 + U6 + U7 + U8$ für den Baustein ADD8_P.

6.2.5 Timerbaustein

Der Timerbaustein *TIMER_P* wird für die Modellierung der zeitabhängigen Leistungsstufen der Widerstände -R1 und -R2 verwendet. Zum Einsatz kommt er als Impuls (Mode=0), bei dem Ausgang Q0 solange Eins ist, wie Eingang I0 gleich Eins und die Zeit an TIME0 noch nicht abgelaufen ist.

Ein zurücksetzen des Eingangs vor dem Ablauf der Zeit an TIME0, setzt den Ausgang Q0 zurück auf Null. Die Abbildung 6-9 zeigt den Baustein als Steuerung der ersten Stufe des Widerstands -R1.

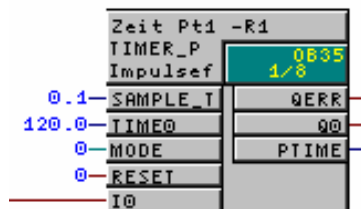


Abbildung 6-9: Timerbaustein *TIMER_P* im CFC

Eine detaillierte Beschreibung des Bausteins mit ergänzenden Informationen ist zur besseren Übersicht in Anlage I zu dieser Arbeit beigefügt.

6.2.6 Modellierung der Widerstände

Für die Darstellung als variable Verbraucher, wurden die Widerstände -R1 und -R2 unter Anwendung des FB150 und des Timer-Bausteins *TIMER_P* modelliert, wobei sich die Zusammenschaltung aus den in Tabelle 5-2 gemachten Vorgaben mit folgenden Bausteinen ergibt:

- 6x Baustein FB150
- 5x Timer-Baustein *TIMER_P*

Die Funktion wird mittels der sechs Stufen gebildet, wobei beim Einschalten von -R1 und -R2 zunächst alle Stufen aktiv sind. Die Reduzierung der Leistung erfolgt danach durch abschalten der fünf zeitgesteuerten Stufen jeweils nach Ablauf der eingestellten

Zeit und es bleibt nach Ablauf der Gesamtzeit nur die Stand-By-Stufe als Dauerleistung erhalten.

Aufgrund der Größe der Zusammenschaltung ist eine Darstellung der Widerstände -R1 bzw. -R2 als CFC in Abbildung 11-4 bzw. Abbildung 11-5 innerhalb des Anlage B dargestellt.

6.2.7 Beschaltung der Widerstände

Die von den anderen Verbrauchern abweichende Beschaltung der Widerstände -R1 und -R2 soll in der Simulation aufzeigen, wie sich das Lastmanagement in dem Fall verhält, wenn ein Verbraucher im Lastmanagement verschaltet ist, dieser aber von diesem lediglich vor dem Einschalten deaktiviert und somit in "Warteposition" gesetzt werden kann. Dies ist dann der Fall, wenn der Verbraucher prozesstechnisch einmal in Betrieb eingeschaltet bleiben muss und vom Lastmanagement nicht mehr abgeschaltet werden darf.

Um die Widerstände -R1 und -R2 gegen ein Ausschalten durch das Lastmanagement im laufenden Betrieb zu schützen, sind diese mit einem Selbsthalt versehen, der aus dem CFC ersichtlich, über den Statusausgang "Verbraucher eingeschaltet" der Stand-By-Stufe von -R1 bzw. -R2 mittels eines OR-Bausteins das Ausschalt-Signal von PRE_LMGGM außer Kraft setzt.

6.3 Modellierung Anlaufsteuerung

Die Simulation Anlaufsteuerung beinhaltet zusätzliche zum Schaltungsaufbau aus der Laststeuerung eine externe Beschaltung des Lastmanagement, mit der sichergestellt werden soll, dass der Tarif/Limit beim Einschalten der Verbraucher -R1 und -R2 in jedem Fall eingehalten wird. Um die Funktionsweise zu erreichen sind zusätzliche Bausteine für die Simulation Anlaufsteuerung in den Aufbau der Laststeuerung eingebaut:

- Differenzbaustein (SUB_R)
- Komparatorbaustein (CMP_R)

Der generelle Aufbau entspricht im Weiteren dem der Simulation Laststeuerung und der zugehörige CFC für die Simulation Anlaufsteuerung ist auch hier aufgrund des Umfangs separat in Anlage C dargestellt.

6.3.1 Differenzbaustein

Der in Abbildung 6-10 dargestellte Differenzbaustein *SUB_R* ermöglicht in der Anlaufsteuerung außerhalb des Lastmanagement die Differenzbildung zwischen Tarif und Gemittelter Leistung zum Ende der Synchronperiode (Tarif minus Trend).



Abbildung 6-10: Differenzbaustein *SUB_R* im CFC

Mittels der Subtraktion wird aus den beiden Real-Werten an *IN1* und *IN2* gem. $OUT = IN1 - IN2$ das Ergebnis an *OUT* berechnet.

6.3.2 Komparatorbaustein

Der in Abbildung 6-11 dargestellte Komparatorbaustein *CMP_R* dient in der Simulation dem Vergleich der mit *SUB_R* gebildeten Differenz mit dem Gesamt-Leistungswert des Widerstandes -R1 bzw. -R2 und ist somit wie im CFC ersichtlich für die Freigabe zum Zuschalten des Widerstandes -R1 bzw. -R2 verantwortlich.



Abbildung 6-11: Komparatorbaustein *CMP_P* im CFC

Für die Simulation wird der Ausgang *GE* (Greater or Equal) benutzt, wobei dieser Ausgang dann $GE=1$ wird, wenn die Bedingung $IN1 \geq IN2$ erfüllt ist, was für die

Freigabe bedeutet, dass diese erst dann erfolgen kann, wenn die ermittelte Differenz größer oder gleich dem Gesamtleistungswert aller Stufen von -R1 bzw. -R2 ist und erst dann wird der jeweilige Widerstand zur Zuschaltung durch den Anwender freigegeben.

6.3.3 Modellierung der Widerstände

Analog zur Simulation Laststeuerung sind die Widerstände -R1 und -R2 gleich wie in Abschnitt /6.2/ dargestellt aufgebaut und entspricht somit auch den gleichen Vorgaben, wie sie in Abschnitt /6.2/ beschrieben sind.

6.3.4 Beschaltung der Widerstände

Analog zur Simulation Laststeuerung sind auch hier die Widerstände -R1 und -R2 wie in Abschnitt /6.2/ dargestellt, per Selbsthalt gegen Ausschalten durch das Lastmanagement verriegelt, womit diese Beschaltung dem gleichen Vorgehen wie in Abschnitt /6.2/ beschrieben entspricht und lediglich die Beschaltung des -R1 und -R2 wird jeweils durch eine Zusammenfassung der Gesamtleistung mittels eines Summier-Bausteins ADD8_P ergänzt, welche als Vergleichswert dem jeweiligen Komparator-Baustein CMP_R von -R1 bzw. -R2 zur Verfügung gestellt wird.

Des Weiteren werden die Stand-By-Stufe und negiert alle variablen Stufen der beiden Widerstände mittels AND-Baustein zusammengefasst als Verriegelung vor den Widerstand -R3 geschaltet, um zuerst den vollständigen "Anlauf" von Widerstand -R1 und -R2 zu erzwingen, bevor Widerstand -R3 zugeschaltet werden kann, d.h. der Widerstand -R3 kann erst zugeschaltet werden, wenn Widerstand -R1 und -R2 auf ihren Stand-By-Wert zurückgefahren wurden.

6.4 Bedienung der Simulation

Für die Bedienung der Simulation und das Schalten der Verbraucher wurden an der SPS zur Verfügung stehende Eingangs-Bits gemäß der in Tabelle 6-1 dargestellten Belegung verwendet, aufgrund dessen, dass der zur Verfügung stehende Aufbau lediglich 16 verdrahtete Anschlüsse, von E0.0 bis E1.7, bereit stellt.

Eingang	Funktion	Eingang	Funktion
E0.0	Hauptschalter	E1.1	Start -M4
E0.1	Lastmanagement EIN	E1.2	Start -M5
E0.2	Off-Set 1	E1.3	Start -M6
E0.3	Off-Set 2	E1.4	Start -R1
E0.5	Start -M1	E1.5	Start -R2
E0.6	Start -M2	E1.6	Start -R3
E0.7	Start -M3	E1.7	Start -M7

Tabelle 6-1: Schalterbelegung für die Simulationen

Weil im gesamten Aufbau zwölf Verbraucher zu schalten waren, mussten die Freigaben für das Lastmanagement als auch die Einstellungen des Handbetriebs für den Test der Funktionsweise im Faceplate des Lastmanagement-Bausteins auf der MMI der Simulation vorgenommen werden.

6.5 Mensch-Maschine-Interface

Für die Bedienung der Simulationen wurde eine MMI für die Visualisierung WinCC erstellt, weil nur auf diese Art eine vollständige Bedienung der Lastmanagement-Bausteine mit ihren Funktionen möglich ist. Gleichzeitig können über die MMI alle Schaltzustände der Verbraucher und Statusmeldungen des Lastmanagement im Überblick angezeigt werden.

Eine Abbildung der verwendeten MMI ist aufgrund der Größe in Anlage A beigelegt. Auf dieser MMI wurden verschiedene Bereiche angelegt, in denen die jeweiligen Funktionen zusammengefasst dargestellt sind und die in den folgenden Abschnitten dargestellt werden, wobei die Bausteinsymbole von PRE_SUM und PRE_LMGM der Übersicht halber hier als jeweils eigener Bereich behandelt werden.

6.5.1 Status Lastmanagement

In dem in Abbildung 6-12 dargestellten Bereich *Status Lastmanagement* werden die wichtigsten Zustände des Lastmanagements dargestellt, indem in diesem Bereich die Ein- oder Ausgänge des Bausteins PRE_LMGM als Zustandsanzeigen als auch mittels

E/A-Feldern dargestellt werden, dabei sind die Zustandsanzeigen bzw. E/A-Felder an die entsprechenden Variablen des Bausteins PRE_LMGM gekoppelt.

Status Lastmanagement												
		Verbraucher	-M1	-M2	-M3	-M4	-M5	-M6	-R1	-R2	-R3	-M7
LMGM - Aktiviert	●	Freigegeben	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
LMGM - ausgeschaltet	●	Im LMGM	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Abwurf nicht möglich	●	Handbetrieb	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Abwurf erfolgt	●	Freigabe	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Aufnahme erfolgt	●	Eingeschaltet	M	M	M	M	M	M	●	●	●	M
Abwerfbare Verbr.	7	Leistung/kW	180	180	180	75	90	120	250	250	150	155
Zuschaltbare Verbr.	0	Priorität	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Abgew. Verbr. ges.	0	Rollierend	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Abbildung 6-12: Status Lastmanagement

Mit Hilfe der Zustandsanzeigen und E/A-Feldern auf der linken Seite des Bereichs sind ausgewählte Variablen des Bausteins PRE_LMGM dargestellt, die den Status im Zusammenhang mit Lastabwurf und -Aufnahme der Verbraucher signalisieren, wobei der rechte Bereich nur das in Abbildung 4-21 gezeigte Faceplate *Prioritätenliste* des Bausteins PRE_LMGM zur Information anhand von Zustandsanzeigen und E/A-Feldern abbildet, so dass über diesen Bereich der MMI keine Änderungen in der Prioritätenliste vorgenommen werden können und dies weiterhin über das entsprechende Faceplate ausgeführt werden muss.

6.5.2 Verbraucherübersicht

In dem in Abbildung 6-13 dargestellten Bereich *Verbraucherübersicht* wurden schematisch die sieben Motoren und drei Widerstände als Symbol angelegt und mittels entsprechender Statusanzeigen der Schaltzustand der Verbraucher signalisiert, indem diese mit den zugehörigen Variablen des Bausteins PRE_LMGM verknüpft werden und zusätzlich wurde für jeden Verbraucher ein E/A-Feld angelegt, das die aktuelle Leistung an den Eingängen P1 bis P10 des Bausteins PRE_LMGM anzeigt.

Zusätzlich sind schematisch die Messgeräte PAC3200, die SPS und die Simatic PC-Station mit den verwendeten Netzen und entsprechenden Anbindungen der Verbraucher, der SPS, der PC-Station und der Messgeräte über das Industrial Ethernet bzw. den Profibus DP dargestellt, um den Zusammenhang der Struktur abzubilden.

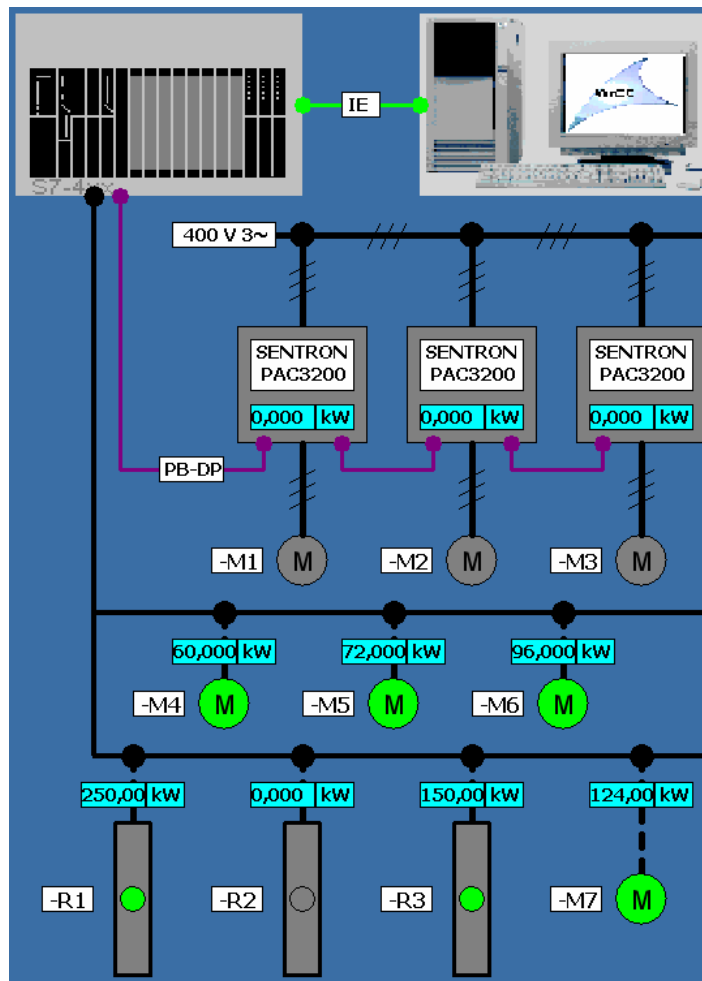


Abbildung 6-13: Verbraucherübersicht

Für die Motoren -M1 bis -M3 wird die durch das PAC3200 übermittelte Wirkleistung und für alle weiteren Verbraucher die eingestellte virtuelle Leistung angezeigt und aufgrund dessen, dass die Einheiten durch das PAC3200 nicht übertragen werden, wurden die Einheiten [kW] als Textfeld neben dem jeweiligen E/A-Feld angezeigt.

6.5.3 Messwerterfassung

Der in Abbildung 6-14 dargestellte Bereich *Messwerterfassung* beinhaltet das Bausteinsymbol des Bausteins PRE_SUM, über das mittels Faceplates die Bedienung des Bausteins erfolgt. Das gezeigte Bausteinsymbol entspricht der WinCC-Runtime-Ansicht im Gegensatz zu der in Abbildung 4-8 dargestellten Entwurfs-Ansicht.

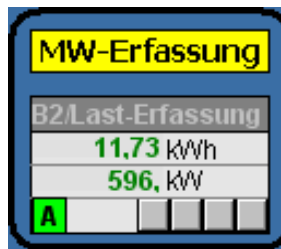


Abbildung 6-14: Bausteinsymbol Messwerterfassung

Die Bedienung des Bausteines über die durch Anklicken erreichbaren Faceplates wurde in Abschnitt /4.3.1/ dargestellt.

6.5.4 Lastmanagement

Auch der in Abbildung 6-15 dargestellte Bereich *Lastmanagement* enthält analog zum Bereich Messwerterfassung das Bausteinsymbol des Bausteins PRE_LMGM, über das mittels Faceplates die Bedienung des Bausteins erfolgt. Das gezeigte Bausteinsymbol entspricht auch hier der WinCC-Runtime-Ansicht im Gegensatz zu der in Abbildung 4-9 gezeigten Entwurfs-Ansicht.

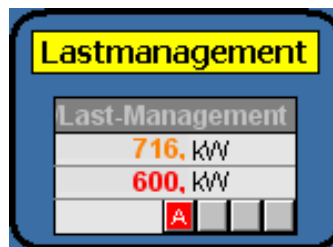


Abbildung 6-15: Bausteinsymbol Lastmanagement

Die Bedienung des Bausteines über die durch Anklicken erreichbaren Faceplates wurde in Abschnitt /4.3.2/ dargestellt.

7 Ergebnisse und Auswertung

Im Verlauf der Simulationen wurden verschiedene Szenarien getestet und letztendlich für die Arbeit zwei besonders aussagefähige Ergebnisse ausgewählt. Diese Ergebnisse sollen in den folgenden Kapiteln dargestellt und bewertet werden. Um eine entsprechende Übersicht sicher zustellen, sind die Ergebnisse in ihrer jeweiligen Verbraucher-Zeit-Matrix in Anlage F bzw. Anlage G dargestellt.

7.1 Ergebnisse der Simulationen

In den Ergebnissen der Simulation Laststeuerung bzw. Anlaufsteuerung sind die Schaltzustände der jeweiligen Verbraucher, das reaktive Verhalten des Lastmanagements und die Schalthandlungen des Anwenders anhand von Abkürzungen dokumentiert, wobei eine Übersicht dieser Abkürzungen als Legende in Anlage E beigelegt ist, so dass in beiden folgenden Kapiteln lediglich eine Betrachtung ausgewählter Bereiche aus den Verbraucher-Zeit-Matrizen anhand aussagefähiger Bereiche erfolgen soll, wobei die Auswertung der Ergebnisse für beide Simulationen in Abschnitt /7.2/ erfolgen soll.

7.1.1 Ergebnisse der Simulation Laststeuerung

Die in Anlage F dargestellten Ergebnisse zur Laststeuerung umfassen eine Simulation von ca. 180 min Dauer in der die Verbraucher durch den Anwender anhand einer subjektiv gewählten Abfolge auch zum Teil mehrfach zu- und abgeschaltet wurden, wodurch das Lastmanagement reaktive Schalthandlungen in Bezug auf die Synchronperiode durchführt, wobei diese je nach aktuellem Leistungstrend nicht zwingend sofort nach Schalten eines Verbrauchers sondern unter Umständen erst zu Beginn der nächsten Synchronperiode erfolgen.

Im Folgenden soll die Funktionsweise des Lastmanagement anhand des in Tabelle 7-1 dargestellten Ausschnittes aus den Ergebnissen der Simulation Laststeuerung aufgezeigt werden, denn dieser Ausschnitt beinhaltet das Verhalten des Systems in den 30 min der ersten und zweiten Synchronperiode nach der Aktivierung des

Lastmanagements und dokumentiert das Verhalten des Systems beim Anlauf der variablen Verbraucher in Form der Widerstände -R1 und -R2.

Periode	Zeit	Verbraucher									
#	HH:MM:SS	-M1	-M2	-M3	-M4	-M5	-M6	-R1	-R2	-R3	-M7
0-15	16:15:00.095	Lastmanagement aktiviert → Meldung "Ungültiges Limit" → Start Synchronisierung → Start Protokollierung									
	16:15:10.000				ME	ME	ME				
15-30	16:30:10.000				X	X	X	ME	ME	ME	ME
	16:30:13.495	LA			X	X	X	X	X	X	X
	16:30:13.895				LA	X	X	X	X	X	X
	16:30:23.595	Meldung "Keine Verbraucher abwerfbar"									
	16:30:23.596					LA	X	X	X	X	X
	16:30:23.695	Meldung "Warnung Bevorstehende Limitüberschreitung 365.72 kWh/1462.87 kW" (K) Meldung "Alarm Bevorstehende Limitüberschreitung 365.72 kWh/1462.87 kW" (K)									
	16:30:23.995						LA	X	X	X	X
	16:30:24.395							LA	X	X	X
	16:34:11.595	Meldung "Alarm Bevorstehende Limitüberschreitung 282.72 kWh/1130.88 kW" (G)									
	16:40:13.495	Meldung "Keine Verbraucher abwerfbar"									
	16:40:13.496							LE	X	X	X
	16:40:13.595	Meldung "Warnung Bevorstehende Limitüberschreitung 248.35 kWh/993.42 kW" (G)									
	16:40:23.595						LE	X	X	X	X
	16:40:33.695					LE	X	X	X	X	X
30-45	-/-					X	X	X	X	X	X

Tabelle 7-1: Ausschnitt aus der Simulation Laststeuerung

Die Zuschaltung der Verbraucher erfolgte zur besseren Verfolgbarkeit der Vorgänge in zwei Gruppen innerhalb der ersten zwei Synchronperioden, wobei die erste Gruppe, bestehend aus den Motoren -M4, -M5 und -M6, zeitnah nach Aktivierung des Lastmanagements vom Anwender zugeschaltet wurde.

Die Zuschaltung der zweiten Gruppe, bestehend aus den Widerständen -R1, -R2, -R3 und dem Motor -M7, erfolgte ca. 15 min später etwa zu Beginn der zweiten Synchronperiode, wobei nicht auf eine explizite Reihenfolge geachtet und keine bewussten Zeitabstände gelassen wurden, um die Berechnung des Lastmanagements nicht mehr als erforderlich zu beeinflussen.

7.1.2 Ergebnisse der Simulation Anlaufsteuerung

Wie bereits in der Simulation Laststeuerung umfassen auch die Ergebnisse zur Anlaufsteuerung in Anlage G eine Simulation von ca. 180 min Dauer in der die Verbraucher im identischen Ablauf zur Simulation Laststeuerung durch den Anwender zu- und abgeschaltet wurden und zum Vergleich mit den Ergebnissen in Abschnitt /7.1.1/ wird die in Tabelle 7-2 dargestellte identische Sequenz für den Start der Verbraucher -M4 bis -M6 und -R1 bis -M7 als Beispiel für die Simulation Anlaufsteuerung verwendet.

Die Zuschaltung der Verbraucher durch den Anwender erfolgte in identischen Gruppen analog zur Laststeuerung innerhalb der ersten zwei Synchronperioden.

Periode	Zeit	Verbraucher									
#	HH:MM:SS	-M1	-M2	-M3	-M4	-M5	-M6	-R1	-R2	-R3	-M7
0-15	16:15:00.057	Lastmanagement aktiviert → Meldung "Ungültiges Limit" → Start Synchronisierung → Start Protokollierung									
	16:16:00.000				ME	ME	ME				
15-30	16:30:40.000				X	X	X	ME	ME	ME	ME
30-45	16:45:20.000				X	X	X	X	VE		X
	16:55:20.000				X	X	X	X	X	VE	X
45-60	-/-				X	X	X	X	X	X	X

Tabelle 7-2: Ausschnitt aus der Simulation Anlaufsteuerung

In diesem Fall beinhaltet die Simulation im Gegensatz zur Laststeuerung das Verhalten in den 45 min der ersten, zweiten und dritten Synchronperiode nach der Aktivierung des Lastmanagements, wobei für diese Simulation die erste Gruppe mit den Motoren -M4, -M5 und -M6 und die zweiten Gruppe mit den Widerständen -R1, -R2, -R3 und dem Motor -M7 analog zur Simulation Lastmanagement zugeschaltet und dabei auf die Einhaltung der gleichen Reihenfolge wie bei der Laststeuerung geachtet und keine bewussten Zeitabstände gelassen wurden, um die Berechnung des Lastmanagements nicht mehr als erforderlich zu beeinflussen.

Dennoch kann es durch die manuelle Bedienung zu zeitlichen Abweichungen zwischen den beiden Simulationen beim Einschalten der Verbraucher gekommen sein, wobei es sich nur um geringe, den Ablauf nicht beeinflussende Größenordnungen handeln kann.

7.2 Auswertung der Simulationen

Die in diesem Kapitel beschriebenen Eigenschaften sind für beide Simulationen gültig, sofern nicht explizit auf eine der beiden Simulationen Bezug genommen wird, wobei die dargelegten Eigenschaften ausgewählte Punkte sind, denen aus Sicht des Anwenders wesentliche Bedeutung bei der Beurteilung des Lastmanagement zukommt, weshalb die in diesem Kapitel genannten wesentlichen Eigenschaften als Basis für die Ermittlung möglicher Konzepte in Abschnitt /8/ und für die Erarbeitung potentieller Verbesserungen in Abschnitt /9/ dienen.

7.2.1 Vergleich der Ergebnisse

In den Ergebnissen in Tabelle 7-1 der Simulation Laststeuerung ist zu erkennen, dass das Lastmanagement im Zuge der Zuschaltung der zweiten Gruppe innerhalb der zweiten Synchronperiode mehrere Schalthandlungen in kurzen Zeitabständen ausführt, die dennoch nicht verhindern, dass das eingestellte Limit überschritten wird.

Eine Erklärung ist in den Einschränkungen im Lastabwurf zu finden, denn aufgrund von Prioritäten, der Unterdrückungs- und Beruhigungszeit, den maximalen und minimalen Aus- und Einschaltzeiten der Verbraucher kann das Lastmanagement nicht jeden der zur Verfügung stehenden Verbraucher nach Bedarf abschalten und das Lastmanagement generiert demzufolge die Meldung, dass keine Verbraucher abgeworfen werden können, wobei nach entsprechender Zeit die Warnung und der Alarm ausgegeben werden, dass eine Limit-Überschreitung bevor steht und das Lastmanagement danach dennoch mit dem Abwerfen möglicher Verbraucher fortfährt, bis alle potentiell möglichen Verbraucher abgeworfen sind.

Die Alarmmeldung zur Überschreitung des Limits wird zu dem Zeitpunkt zurückgesetzt, als die Leistungen der Widerstände -R1 und -R2 auf den Bemessungswert abgefallen sind und damit die Leistung wieder unter das eingestellte Limit zu liegen kommt, was

dazu führt, dass das Lastmanagement mit der Lastaufnahme der zuvor abgeworfenen Verbraucher entsprechend ihrer zugewiesenen Prioritäten beginnt und im weiteren Verlauf auch die Warnmeldung zur Limitüberschreitung zurückgesetzt wird.

Im Gegensatz dazu ist deutlich ein Unterschied zu der in Tabelle 7-2 dargestellten Simulation Anlaufsteuerung zu sehen, bei der keine Schalthandlungen während der Zuschaltung der beiden Verbrauchergruppen zu beobachten sind, was auf die externe Beschaltung des Lastmanagement zurückgeführt werden kann, wodurch in dieser Simulation alle Verbraucher ohne Lastabwurf eines anderen Verbrauchers ans Netz gebracht und gleichzeitig vom Lastmanagement auch keine Warn- oder Alarmmeldungen abgesetzt werden, weil auf dem Weg der externen Beschaltung im Zuge des Anfahrens verhindert wird, dass das eingestellte Limit überschritten werden kann.

Durch den störungsfreien Anlauf in der Simulation Anlaufsteuerung verlängert sich die Zeit, bis alle Verbraucher vollständig zur Verfügung stehen und der ermittelte Zeitbedarf für die Zuschaltung der beiden Verbrauchergruppen, inklusive den Anlaufvorgängen der Widerstände -R1 und -R2, ist bei der Simulation Anlaufsteuerung höher als bei der Simulation Laststeuerung und bewegt sich im Verhältnis von drei zu zwei Synchronperioden.

7.2.2 Auswirkungen des Lastmanagements

Im nachfolgenden Kapitel soll versucht werden, die Auswirkungen auf die Ergebnisse zu beleuchten, die durch das Lastmanagement selbst und die Programmabläufe innerhalb der Bausteine verursacht werden und auf die der Anwender zum Teil auch keinen Einfluss nehmen kann.

Zeitpunkt der Aktivierung

Das System aktiviert sich nicht mit dem Zeitpunkt des Einschaltens, dem Zeitpunkt wenn das System auf der SPS aktiv wird, sondern das Lastmanagement wird erst dann aktiviert und seine Funktionen damit für den Anwender nutzbar, wenn für die Variablen *LAST_VAL* bzw. *LAST_AVG*, was dem letzten Energiewert bzw. dem letzten Leistungsmittelwert der letzten Synchronperiode entspricht, ein erster Wert vom

Baustein PRE_SUM errechnet und an den Baustein PRE_LMGM übergeben worden ist, d.h. solange diese beiden Werte = Null sind, ist auch das Lastmanagement inaktiv.

Für den Fall, dass das Lastmanagement vor diesem Zeitpunkt aktiviert wird, wird der Fehler *Kein Verbraucher abwerfbar* angezeigt und für den Zeitraum bis zur Aktivierung kann nur ein Monitoring stattfinden. Diese Zeit muss bei jedem Erststart eingeplant und abgewartet werden, sie kann schaltungstechnisch nicht unterdrückt, kompensiert oder umgangen werden.

Trendberechnung

Das Lastmanagement reagiert bei relativ kleiner Lastüber- bzw. -unterschreitung verzögert erst gegen Ende der Synchronperiode, wenn die Differenz zwischen Limit und berechnetem Trend in derartigen Fällen nur geringfügig höher bzw. niedriger ist und dies geschieht selbst dann, wenn der aktuelle Leistungswert über eine längere Zeit höher bzw. niedriger ist als der errechnete Trend ist, so dass dieser Wert erst wieder zum Ende der Synchronperiode in die Berechnung von Trend eingeht.

Somit kann eine vom Anwender angeforderte und prozesstechnisch notwendige Zuschaltung erst wieder zu Beginn der neuen aktuellen Synchronperiode erfolgen, wenn Trend den Wert des dann aktuellen Leistungswertes annimmt, wobei dies im Zuge der Ermittlung der Werte für die Tarifberechnung positiv wirkt, weil auf diese Weise Spitzenlasten innerhalb des Intervalls ignoriert werden, aber weil der Anwender starr an die jeweilige Synchronperiode gebunden ist, ist die Synchronperiode auch die Zeitkonstante für alle Schalthandlungen des Lastmanagements und notwendige Schalthandlungen werden zum Teil erst dann durchgeführt, wenn der nächste Berechnungstakt beendet ist.

Im Vergleich muss festgestellt werden, dass dieses Verhalten, was gut für die Kostenberechnung ist, sich negativ auf die Zu- und Abschaltung auswirkt und dieses System somit ohne eine wirkliche Dynamik ist, wobei auch eine Verkürzung der Synchronperiode nicht zu einer signifikant höheren Dynamik führt.

Prioritätenlisten

Mit der Priorität kann die Wichtigkeit eines Verbrauchers für das Verbleiben im Betrieb festgelegt werden, wobei wenn im Handbuch von Priorität die Rede ist, ist damit die Priorität des Verbrauchers beim Lastabwurf gemeint, das bedeutet, hat ein Verbraucher eine niedrige Bedeutung für den Lastabwurf, so wird dies als hohe Zahl und eine hohe Bedeutung als kleine Zahl in der Prioritätenliste dargestellt [SIE09a], diese Einstufung orientiert sich demnach an der Verfügbarkeit, d.h. ein Verbraucher mit hoher Verfügbarkeitsanforderung hat eine geringe Bedeutung beim Lastabwurf und wird mit einer niedrigeren Priorität versehen als ein Verbraucher mit geringer Verfügbarkeitsanforderung, der eine hohe Bedeutung beim Lastabwurf hat und somit durch eine hohe Priorität dargestellt wird.

Nach Auswertung der Listen ist festzustellen, dass die Prioritätsliste unter allen Umständen eingehalten wird und auch Verbraucher, die in den Handbetrieb gesetzt oder nicht in Betrieb sind, werden bei der Ab- und Zuschaltung anhand der Prioritätenlisten immer berücksichtigt und nicht etwa übersprungen, eine der beobachteten Folgen ist ein Zeitverlust, verstärkt durch die Festlegung einer notwendigen Beruhigungszeit, womit die Zuschaltung zusätzlich entsprechend länger dauert, d.h. die mögliche Zuschaltung eines Verbrauchers wird durch das Lastmanagement unnötigerweise hinaus gezögert.

Mit diesem Vorgehen des Lastmanagements ergibt sich auch, dass keine Überprüfung der Verbraucher auf die aktuelle Differenz statt findet und somit ein Verbraucher, der die Differenz zwischen Trend und Limit füllen könnte, nicht zugeschaltet wird, wenn seine Priorität zu niedrig ist und der nächstmögliche Verbraucher mit höherer Priorität für eine Zuschaltung zu groß ist und weil durch das Lastmanagement keine Suche nach einem passenden Verbraucher statt findet, werden zuschaltbare Verbraucher ignoriert, was auch in der Anleitung für PCS 7 powerrate bestätigt wird:

"Wenn ein Verbraucher mit niedrigerer Priorität nicht freigegeben werden kann, weil seine Nennleistung größer ist als die zur Verfügung stehende Differenzleistung, wird auch kein Verbraucher mit höherer Priorität freigegeben." [SIE09a]

Diese Starre Auslegung der Prioritätenlisten ist zum Teil hinderlich für eine flüssige Verbrauchersteuerung, besonders wenn die beschriebenen Effekte zusammenfallen, dann kann es dazu führen, dass Verbraucher, die eigentlich zuschaltbar wären, nicht berücksichtigt werden.

Rollierung

Mit der Rollierung kann der Anwender Verbraucher gleicher Priorität im Wechsel vom Lastmanagement schalten lassen, damit diese beim Lastabwurf nicht als Gruppe abgeschaltet werden, was der Fall ist, wenn keine Rollierung definiert wurde, was aber zur Folge hat, dass bei eingestellter Rollierung dem Lastmanagement nicht alle Verbraucher zu jeder Zeit zum Abwurf zur Verfügung stehen, d.h. auch wenn alle Verbraucher im Lastmanagement eingebunden sind, können nicht alle zu jeder Zeit abgeworfen und aufgenommen werden.

Dies rührt daher, dass bei Gruppenschaltungen mit Rollierung immer nur der nächste in der Rollierung anstehende Verbraucher abgeworfen werden kann, z.B. hat eine Gruppe drei Verbraucher, steht dem Lastmanagement immer nur einer davon für einen potentiellen Abwurf zur Verfügung.

Verbrauchergröße

Für die Leistungsbilanz müssen bei der Konfiguration des Lastmanagements alle Verbraucher mit einer Leistung definiert werden, wofür die Bemessungsleistung eines Verbrauchers parametrisiert wird, die bei den Elektromotoren aber immer einen Unterschied zur geforderten Leistung darstellt, welche sich durch die Belastung durch die Arbeitsmaschine ergibt und eine Auswirkung auf die vom Lastmanagement schaltbaren Leistungen hat, weil lediglich die erforderliche Leistung abgeschaltet werden kann im Gegenzug aber die Bemessungsleistung vom Lastmanagement zugeschaltet werden muss.

Weil das System die abgeschaltete Leistung des jeweiligen Verbrauches nicht speichert, also das es bei einem Elektromotor real weniger Leistung abschaltet, als projektiert wurde, führt dies dazu, dass für die Zuschaltung eines Elektromotors mehr Verbraucher abgeschaltet werden müssen, als anhand der real geforderten Leistung

des Elektromotors notwendig wären, weil für seine Zuschaltung seine Bemessungsleistung frei gestellt werden muss.

Besonders nachteilig wirkt sich dieser Effekt in Prozessen aus, in denen Verbraucher stark unterschiedlicher Leistungen gemischt betrieben werden, denn um einen von der Bemessungsleistung her großen Verbraucher zuschalten zu können, müsste eine große Anzahl kleinerer Verbraucher ausgeschaltet werden, wobei selbst für den Fall, das ausreichend kleine Verbraucher zur Verfügung stehen, sicher gestellt sein müsste, dass diese zu jeder Zeit abgeschaltet werden können.

7.2.3 Auswirkungen der Bedienung

Im nachfolgenden Kapitel soll im Gegensatz zu Abschnitt /7.2.2/ versucht werden, die Auswirkungen auf die Ergebnisse zu beleuchten, die aufgrund der Bedienung des Anwenders und die Parametrierung des Lastmanagements verursacht werden und auf die der Anwender zum Teil aufgrund der vorgegebenen Programmierung der Bausteine keinen Einfluss nehmen kann.

System-Zeiteinstellungen

Das Lastmanagement lässt dem Anwender die Möglichkeit zwei Zeiten zu parametrieren, mit dem er das Verhalten des Lastmanagements beeinflussen kann, wobei diese Zeiten übergreifend für alle Verbraucher gelten und der Bedämpfung von Schalthandlungen bzw. des Systems dienen, dabei unterscheiden sich die beiden Zeiten in die Unterdrückungszeit, die nach einem Neustart der Synchronperiode durch das Lastmanagement gewartet wird, bis die nächste Schalthandlung ausgeführt wird und die Beruhigungszeit, die Zeit, die nach einem Abwurf oder Freigabe bis zur nächsten Schalthandlung gewartet werden soll.

Möglicherweise aufgrund der Höhe der Tarifüberschreitung wird die Beruhigungszeit vom Lastmanagement sporadisch ignoriert und dann mehr als ein Verbraucher gleichzeitig abgeschaltet, wie in Anlage F im Bereich zwischen 18:45:10.195 und 18:45:10.995 gut zu sehen ist, in dem die Motoren -M4, -M5 und -M6 trotz eingestellter Beruhigungszeit von 10 s alle innerhalb von 0,8 s abgeschaltet werden,

wobei dieses Verhalten nicht durch ein erkennbares Schema gekennzeichnet und nur in Einzelfällen reproduzierbar ist.

Werden im Gegenzug beide Zeiten zu klein oder zu Null gewählt, kann das System in eine Art Schwingen geraten, d.h. die Abschaltung und Zuschaltung der Verbraucher erfolgt relativ augenblicklich und aufgrund der im Vergleich langsamen Trendberechnung überlagern sich diese Entscheidungen und es kann zu einem Zu- und Abschalten diverser Verbraucher im relativ schnellen Wechsel kommen.

Verbraucher-Zeiteinstellungen

Im Gegensatz zu der für alle Verbraucher gültigen Beruhigungs- bzw. Unterdrückungszeit stellt das System auch für jeden einzelnen Verbraucher drei individuell parametrierbare Zeiten bereit, über die der Anwender eine minimale Einschaltzeit, eine minimale Ausschaltzeit und eine maximale Ausschaltzeit parametrieren und kombinieren kann, wobei mittels diesem Vorgehen auch Zustände und Abläufe generiert werden können, in denen die entsprechend parametrierten Verbraucher nicht abgeschaltet werden, obwohl sie aufgrund ihrer Priorität durch das Lastmanagement zur Abschaltung angestanden hätten, sondern stattdessen ein höher priorisierter Verbraucher vom Netz genommen wird.

Damit kann der Anwender eine entsprechende Priorisierung für den Verbraucher nahezu nach Belieben außer Kraft setzen und übersteuern. Wenn die Zeiten entsprechend gewählt werden, ist es durchaus möglich, den Verbraucher für das Lastmanagement zu keiner Zeit abschaltbar zu machen.

Manuelle Schalthandlungen und Freigaben

Ein negativer Effekt wurde in den ersten Tests der Simulation offensichtlich, bei dem ein Verbraucher, der während einer Synchronperiode aus dem Lastmanagement entfernt und nach einer beliebigen Zeit wieder ins Lastmanagement zurück übergeben wurde, zum Beginn der nächsten Synchronperiode vom Lastmanagement ignoriert wurde, wobei eine entsprechende Lösung für diesen Effekt während der Simulation nicht gefunden wurde und nach entsprechender Auswertung ist für diesen Effekt mit

hoher Wahrscheinlichkeit ein Software-Fehler verantwortlich, weswegen diese Variante der manuellen Bedienung im Zuge der Simulation nicht weiter genutzt wurde.

Eine weitere Möglichkeit im Zuge des Prozesses einzelne Verbraucher durch den Anwender manuell steuern zu können, ist die Verbraucher in den *Handbetrieb* zu versetzen, wodurch auch ein manuelles Schalten ohne Beeinflussung durch das Lastmanagement ermöglicht wird, wobei alle Verbraucher auch weiterhin bei der Abfolge von der Prioritätenliste erfasst und beim Abwurf und der Freigabe gemäß Prioritätenliste berücksichtigt werden.

Kombination von Verbrauchern

Eine weitere Möglichkeit das Lastmanagement zu beeinflussen, ist die Kombination von Verbrauchern in Gruppen gleicher Priorität oder gleicher Rollierung innerhalb einer Priorität, was durch den Anwender auf verschiedene Weisen erreicht werden kann, wobei eine Herangehensweise die automatische Gruppierung durch das Lastmanagement selbst ist, die immer dann erfolgt, wenn Verbraucher mit gleicher Priorität und ohne Rollierung parametrisiert werden, denn in diesem Fall erfolgt die Zusammenfassung der Verbraucher zu einer Gruppe automatisch durch das Lastmanagement und daraus resultierend ihre gemeinsame Ab- bzw. Zuschaltung.

Mit einer festgelegten Rollierung der Verbraucher innerhalb einer Priorität kann der Anwender dagegen eigene Gruppen generieren, was den Effekt hat, dass Verbraucher innerhalb der gleichen Priorität mit gleicher Rollierung als eine zusammengehörende Gruppe behandelt werden, weshalb beide Einstellungen zu dem Effekt führen, dass die Abfolge der Prioritätenliste beeinflusst werden kann und nicht so eingehalten wird, wie es der Anwender vom Lastmanagement erwarten würde.

7.3 Erweiterung der Programmierung

Bei der Auswertung der Ergebnisse in Anlage F bzw. Anlage G ist zu erkennen, dass in Bezug auf die statische Funktionsweise des Lastmanagements zwischen den beiden Simulationen keine Unterschiede feststellbar sind, wobei statisch das Verhalten beschreibt, welches nach dem Anlauf der variablen Verbraucher in Form der Widerstände -R1 und -R2 ersichtlich wird.

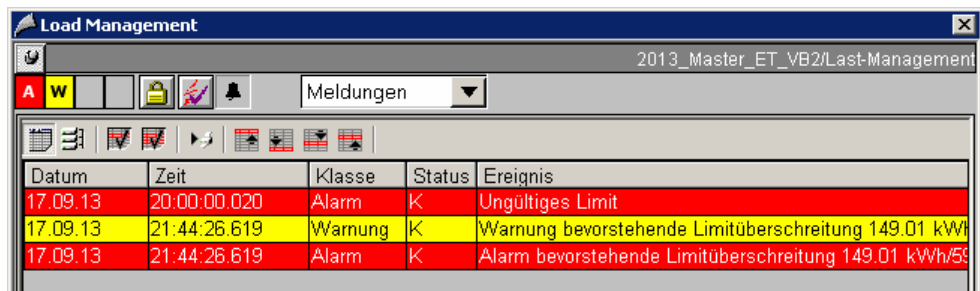
Eine Erweiterung des Lastmanagement mittels zusätzlicher Beschaltung durch den Anwender kann dann sinnvoll werden, wenn der Prozess zusätzlich zu statischen Lasten auch dynamische Lasten mit Spitzenwerten oberhalb des Limits und einer Einschaltdauer der Verbraucher oberhalb der Synchronperiode enthält und diese seitens des Lastmanagements erfasst und gehandhabt werden sollen.

In der Folge bleibt ein Teil der Last über zwei Synchronperioden aktiv und wird von der Trendberechnung erfasst, wodurch es auch mit dem Abwurf aller im Lastmanagement verfügbaren Verbraucher nicht möglich war, diese Spitzenlasten zu kompensieren, mit der Folge, dass die Tarifgrenze überschritten und die Warnung- und Alarm-Meldung abgesetzt werden und die Limit-Überschreitung vom Lastmanagement nicht ausgeregelt werden konnte.

Diesem Zustand kann ohne zusätzliche Beschaltung nur begegnet werden, wenn ein vorgegebener Anlauf der Spitzenlasten nach definierten Einschaltreihenfolgen vorgenommen wird, die seitens des Anwenders entsprechend eingehalten werden müssen, was jedoch in praxi nicht immer sichergestellt werden kann und aus dem Grund und weil das Lastmanagement diese Einschaltfolgen mit Zurückhaltung bestimmter Verbraucher nicht aus eigener Funktion bereitstellen kann, muss vom Anwender je nach Prozess-Anforderungen zusätzlich eingegriffen werden, was zu den externen Beschaltungen führt, wie sie in der Simulation Anlaufsteuerung ausgeführt und getestet worden sind.

7.4 Fehlermeldung

Im Zuge der Simulation trat immer wieder eine Fehlermeldungen auf, deren Ursprung nicht geklärt werden konnte, die aber nicht ungenannt bleiben soll. Mit dem Aktivieren des Lastmanagement wird die in Abbildung 7-1 dargestellte Fehlermeldung *Ungültiges Limit* angezeigt, deren Ursache auch nach einigen Versuchen nicht ermittelt werden konnte und obwohl der Fehler an sich reproduzierbar ist, wird er trotz korrekt eingestellter Tarife bei jeder erneuten Erst-Aktivierung des Lastmanagement ausgegeben.



Datum	Zeit	Klasse	Status	Ereignis
17.09.13	20:00:00.020	Alarm	K	Ungültiges Limit
17.09.13	21:44:26.619	Warnung	K	Warnung bevorstehende Limitüberschreitung 149.01 kWh
17.09.13	21:44:26.619	Alarm	K	Alarm bevorstehende Limitüberschreitung 149.01 kWh/5s

Abbildung 7-1: Fehlermeldung "Ungültiges Limit"

Eine Beeinträchtigung der Funktion des Lastmanagements war auch nach Absetzen der Fehlermeldung nicht zu erkennen, denn das Lastmanagement läuft trotz dessen fehlerfrei an und ein negativer Einfluss ist auch im weiteren Verlauf der Simulation nicht ersichtlich.

8 Konzepte für das Lastmanagement

Ausgehend von den Erkenntnissen in Abschnitt /7.1/ und /7.2/ soll in diesem Kapitel versucht werden, aus grundsätzlichen Überlegungen und unter Berücksichtigung des Funktionsumfangs des Systems machbare Einsatzmöglichkeiten und Konzepte für die Erstellung von Lastmanagementsystemen abzuleiten, wobei diese Überlegungen in Anbetracht des Simulationsumfangs mit einer relativ geringen Verbraucherzahl nur ein Überblick über die Möglichkeiten sein können, die sich dem Anwender mit dem System PCS 7 powerrate eröffnen.

8.1 Grundsätzliche Überlegungen

Um ein Konzept für die Einbindung des Lastmanagements in eine Anlage und die Nutzung von powerrate für dessen Umsetzung erstellen zu können, sollten die Randbedingungen des Lastmanagement bereits bei der Anlagen-Planung definiert werden, wobei dies davon abhängig ist, was der Anwender primär erreichen will und welche Möglichkeiten von Seiten der Anlage bereits gegeben sind.

Für die Umsetzung des Lastmanagements bedarf es der entsprechenden Peripherie und Struktur um die Eingangsinformationen, wie Verbrauchswerte und Schaltzustände, für das Lastmanagement zu erfassen und Möglichkeiten, auf die zu steuernden Verbraucher notwendigen Einfluss ausüben zu können, wofür eine entsprechende Steuerungsmöglichkeit für die Verbraucher gegeben sein muss.

Ist in einer Anlage eine solche Struktur und Vernetzung noch nicht vorhanden und das Lastmanagement soll nachträglich installiert werden, so muss wie bei jeder Nachrüstung der Aufwand und Nutzen gegeneinander abgewogen werden, wobei sich auch das Lastmanagement nur dann rechnet, wenn es die Erstellungskosten als auch seine laufenden Kosten durch seinen Betrieb egalisieren kann.

Aufgrund der festen Kopplung der Leistungsberechnungen an die Synchronperiode und der Nichtbeachtung von Spitzenleistungen während der Synchronperiode durch das Lastmanagement ist ein Einsatz prinzipiell in allen Unternehmen möglich, wobei es

nicht notwendig ist, dass System zusätzlich dynamisch zu gestalten, wodurch es sich bei der Auslegung zusätzlich vorteilhaft auswirken kann, wenn die Verfügungssicherheit der Verbraucher von der Priorität her nicht höher eingestuft ist, als eine potentielle Verbrauchsreduzierung, womit die Möglichkeit besteht, dem Lastmanagement einen größeren Entscheidungsspielraum geben zu können.

8.2 Realisierbarer Systemumfang

Der realisierbare Umfang eines Lastmanagements hängt von den Gegebenheiten ab, die die Anlage bereit stellt, wobei es aus Sicht des Anwenders generell schwer sein kann, erst einmal geeignete Verbraucher für das Lastmanagement im jeweiligen Prozess zu identifizieren, denn die meisten Verbraucher sind über ihre Funktion in den Prozess oder Logistikkette eingebunden, in dem keine sporadische Ab- oder Zuschaltung im Zuge des Lastmanagements stattfinden kann, denn Maschinen, die im Prozess oder der Logistik unvermittelt im Bearbeitungsdurchgang oder in der Bereitstellung außer Betrieb gehen können, sind sie in einem koordinierten Prozess nicht einsetzbar oder folglich nicht für eine Teilnahme im Lastmanagement geeignet.

Ein weiterer Punkt bei der Realisierung eines Lastmanagements ist die Tatsache, dass in der industriellen Fertigung motorische Verbraucher im Prozess in hohem Maße durchlaufende Antriebe sind oder sein müssen, wobei diese Nutzung immer prozesstechnische Gründe hat und diese Motoren somit nicht beliebig aus- und eingeschaltet werden können und sie somit auch nicht geeignet sind, in ein Lastmanagement integriert zu werden.

Ausgehend von den obigen Überlegungen, ist festzuhalten, dass gerade in den heute üblichen Just-in-Time- oder Just-In-Sequenz-Prozessen auch kleinere Unterbrechungen in der Fertigung oder Fehler in der Logistikkette zu erheblichen Störungen der Produktion und damit zu langwierigen Ausfällen von Anlagenteilen führen können und in vielen Fällen kann es somit vorkommen, dass aus Sicht des Anwenders der Verfügungssicherheit eine höhere Priorität gegenüber potentieller Energieeinsparung eingeräumt werden muss, womit für ein effektives Lastmanagement mehrheitlich nur noch Verbraucher sekundärer Systeme und der Gebäude- und Haustechnik zur Verfügung stehen würden.

Die Verfügungssicherheit derartiger Verbraucher ist gegenüber Verbrauchern der Prozesskette nicht in dem Maße von Bedeutung, weshalb hier zeitweilig auf derartige Verbraucher verzichtet werden kann, wobei ein Vergleich zwischen den Leistungsbilanzen das Ergebnis bringen kann, dass die Gesamtleistung der Verbraucher der Prozess- bzw. der Logistikkette gegenüber der Gesamtleistung der Verbraucher sekundärer Systeme höher ist und das Einsparpotential somit weniger hoch ausfallen würde, wie es möglich wäre, wenn alle Verbraucher in das Lastmanagement eingebunden wären.

Im Zuge der Realisierung eines Lastmanagements muss somit vom Anwender ein sorgfältiges Abwägen zwischen der möglichen und gewünschten Energieeinsparung und der Verfügungssicherheit der potentiellen Verbraucher vorgenommen werden und nicht selten wird die gewünschte Einsparung hinter der dann höher eingestuften Verfügungssicherheit zurück stehen müssen.

8.3 Möglichkeiten des Systemeinsatzes

Aus den im Zuge der Simulationen ermittelten Eigenschaften lassen sich für das Lastmanagement verschiedene Einsatzszenarien ermitteln, die im Folgenden Kapitel unter Beachtung der erzielten Ergebnisse aus Abschnitt /7.1/ und deren Auswertung in Abschnitt /7.2/ beleuchtet werden sollen, wobei diese Einsatzmöglichkeiten jeweils getrennt voneinander als auch in Kombination anwendbar sind.

Monitoring

Eine der Möglichkeit des Einsatzes eines Lastmanagement ist die Protokollierung des Verbrauchs einzelner oder aller elektrischen Verbraucher in Form eines Monitoring, was als Funktion primär das Sammeln, Speichern und Darstellen von Verbrauchswerten betrifft, wobei zusätzlich aber auch Kennwerte zur Netzqualität oder zum Lastfluss gewonnen werden können und es so im Nachhinein eine Auswertung erlaubt, anhand derer die Prozesse entsprechend überprüft und auf diese Weise auch bereits vor der Implementierung eines automatischen Lastmanagements die Identifizierung potentieller Verbraucher für die Einbindung in das automatische Lastmanagement und

gleichzeitig eine Optimierung der Prozesse erfolgen kann, was in logischer Folge in den nächsten potentiellen Konzeptpunkt mündet.

Prozessplanung

Aus dem Monitoring des Verbrauchs durch das Lastmanagement heraus ergibt sich indirekt eine weitere Anwendungsmöglichkeit, indem die aus dem Monitoring gewonnen Erkenntnisse unabhängig von der Installation eines automatischen Lastmanagements für die Prozessplanung oder bei existierenden Anlagen für die Prozessoptimierung eingesetzt werden können, wodurch der Anwender bereits in der Projektierung seiner technologischen Abläufe und seiner Logistik eine Verbrauchsoptimierung erreichen kann.

Die Möglichkeiten in den potentiellen Verbrauch einer Anlage einzugreifen, sind vielfältig und reichen von der Gruppierung der Verbraucher, die nicht gleichzeitig in Betrieb genommen werden sollen, über den vornehmlich zeitversetzten Einsatz bis zu einer gesteuerten gestaffelten Zuschaltung großer Verbraucher, wie in der Simulation Anlaufsteuerung, wobei der Prozess gleichzeitig zusätzlich so organisiert werden kann, dass derartige Verbraucher in weniger stromintensiven Abschnitten des Prozesses oder zu Tageszeiten mit günstigerem Tarif ans Netz genommen werden.

Aufgrund der meist strikten Vorgaben für den Betrieb der Verbraucher durch den Prozess, bieten sich für derartig geschaltete Verbraucher bevorzugt wieder Lasten aus sekundären Systemen, wie man sie bei Medienbereitstellungen oder in der Haustechnik vorfindet, an.

Manuelles Lastmanagement

Sind von Seiten des Anwenders die Möglichkeiten des Monitoring ausgeschöpft und ist daraus resultierend die Prozessplanung optimiert, kann das System aus dieser Anwendung heraus auch als ein bereits in Abschnitt /2.2/ angesprochenes Lastmanagement mittels Überwachung genutzt werden, indem die Ergebnisse des Monitorings in eine Bedienvorschrift für die manuelle Steuerung der Verbraucher des Prozesses überführt werden.

Mittels der ermittelten Verbrauchswerte aus dem Monitoring können im Zuge der Prozessplanung Prioritätslisten definiert und Schaltsequenzen als Grundlagen für die Bedienung generiert werden, wobei es aufgrund des Aufwandes und der Kosten, die eine Installation eines Lastmanagementsystems und eine zusätzliche Bedienung mit sich bringen, wirtschaftlich nicht effektiv wäre, auf die Funktionen und damit auf den Nutzen eines automatisierten Lastmanagements zu verzichten.

Automatisiertes Lastmanagement

Nachdem alle Möglichkeiten des Monitoring ausgeschöpft, alle Ergebnisse bei der daraus resultierenden Prozessplanung umfassend berücksichtigt wurden und eine wirksame Zahl potentielle Verbraucher für das Lastmanagement identifiziert werden konnten, kann das automatische Lastmanagement implementiert werden und die Funktion so übernehmen, wie sie in den beiden Simulationen versucht wurden darzustellen und zu untersuchen.

Bei einer erfolgreichen Implementierung reguliert das automatische Lastmanagement in diesen Fällen je nach aktuellem Verbrauch und gültigem Limit den Lastabwurf und die Lastaufnahme aller Verbraucher innerhalb einer kompletten Anlage, einer Teilanlage oder auch eines technologischen Bereiches, wobei mittels Festsetzung von Prioritäten, Rollierungen und Ein- und Ausschaltzeiten versucht wird einen Maximalverbrauch unterhalb des Tarifs in Verbindung mit maximaler Nutzungszeit der angeschlossenen Verbraucher zu erzielen.

Nutzung von Lastmanagementnetzwerken

Im Zuge und der Zunahme der Anlagengrößen und der Weiterentwicklung der Systeme werden in Zukunft nicht mehr nur einzelne Verbraucher, sondern geschlossene Bereiche einer Anlage, Teilanlagen oder auch komplette Anlagen für eine Ab- und Zuschaltung im Zuge des Lastmanagements konditioniert werden, wenn in ihnen entsprechend alle Verbraucher während Produktionspausen prozessbedingt abgeschaltet werden können, reduziert das nachhaltig die Energiekosten, wozu auch das kostengünstige und punktuelle Erfassen von Energiemesswerten bei trägt.

Eine Lösung für dieses Konzept ist das seit kurzer Zeit von mehreren Firmen auf dem Gebiet der Automation entwickelte, international Profil PROFIenergy, mit dem die Voraussetzung geschaffen wurde, nicht nur einzelne Verbraucher, sondern ganze Produktionseinheiten koordiniert und zentral zu schalten, und das flexibel, kurzfristig sowie hersteller- und geräteunabhängig, wobei der große Vorteil ist, da auch hier manuelles und zeitraubendes Schalten entfällt, kann selbst bei kurzzeitigen Unterbrechungen schon Energie eingespart werden.

Seine volle Funktionalität erreicht das Konzept PROFIenergy in der Fertigungs-Automation, in der immer wieder Pausen auftreten, in denen die Produktion häufig ruht oder reduziert agiert, z.B. nachts oder an Wochenenden, aber auch in kürzeren Pausen, die für Werkzeugwechsel oder zu Wartungszwecken notwendig sind und da in der Regel während dieser Zeit eine Anlage bzw. Maschine nicht vollständig ausgeschaltet wird, verbraucht sie somit auch in produktionsfreien Zeiten Energie. Mit PROFIenergy können so nicht benötigte Verbraucher gezielt abgeschaltet und Energiekosten spürbar verringert werden, weil so das einfache, automatisierte Aus- und Einschalten von technologisch zusammengehörigen Anlagenteilen ermöglicht wird, wobei die Koordination dabei zentral durch eine übergeordnete Steuerung und die Vernetzung über Profinet oder Profibus erfolgt und es so dem Anwender ermöglicht wird, den Energiebedarf und damit die Kosten deutlich zu senken.

Das herstellerübergreifende System lässt sich als Nachrüstung auch in bereits vorhandenes System, z.B. über ein PROFIenergy fähiges Powermodul der ET 200S sowie entsprechende Funktionsbausteine im Programm einer SPS, einbinden und zusammen mit einer Profinet oder Profibus-Vernetzung ermöglicht es das koordinierte Ab- und Anschalten ganzer Anlagenteile, wobei die nachladbaren Funktionsbausteine für einen geringen Aufwand beim Projektieren sorgen und ein wesentlicher Vorteil bei der Nachrüstung ist, dass die Steuerungslogik der Prozesse bei PROFIenergy getrennt von der Steuerung für das Lastmanagementsystem ausgeführt werden kann, so dass je nach Konzept auch eine separate Steuerung für das Lastmanagement verwendet werden kann, wobei durch diese Trennung beide Teile unabhängig voneinander getestet und in Betrieb genommen werden können.

8.4 Nutzung der Systemfunktionen

Das Lastmanagement stellt verschiedene Funktionalitäten zur Verfügung, über die der Anwender das System seinen Bedürfnissen anpassen kann, diese sollen in Folge beleuchtet werden, wobei für die Abschaltreihenfolgen die Definition der Priorität die bedeutendste Funktion ist, weil sie die Grundlage für die Ab- und Zuschaltung der Verbraucher schafft, indem sie die Wichtigkeit des Verbrauchers im Prozess repräsentiert.

Im Falle des PCS 7 powerrate ist die Wichtigkeit anhand der Priorität beim Abschalten definiert, wie bereits in Abschnitt /7.2.2/ beschrieben, was in der Anwendung zuerst einmal ungewöhnlich ist, wobei diese Art der Definition aber durch das System vorgegeben und nicht beeinflussbar ist, wodurch kann der Anwender über die Priorisierung den größten Einfluss auf das System nehmen kann, schon weil diese Einstellung die primäre Orientierung für das Lastmanagement darstellt, an der alle weiteren Einstellungen angelehnt sind, zuerst, auch wenn weitere Bedingungen gelten, wird zuerst die Priorität bei der Entscheidung für oder gegen eine Abschaltung eines Verbrauchers herangezogen.

Eine weitere Funktion ist die Rollierung, über die innerhalb einer Priorität eine abwechselnde Abschaltung von Verbrauchern erfolgen kann, wobei die Voraussetzung hierfür eine sinnvolle Gruppierung der Verbraucher nach den Erfordernissen des Prozesses in Anlagen mit Verbrauchergruppen ist, bei denen abwechselnd Verbraucher der Gruppe ohne Auswirkung auf den Prozess ausgeschaltet werden können. Auf diese Art können im Lastmanagement in der Regel Verbraucher für sekundäre Aufgaben, z.B. Lüftung oder Klimatisierung oder Gebäudetechnik gehandhabt werden. In derartigen Fällen hat diese Funktion für die Praxis keinen weiteren Nutzen, denn über eine direkte Priorisierung der Verbraucher und die Definition entsprechender Mindest- und Maximal-Schaltzeiten können in diesem Bereich gleiche, wenn nicht bessere Ergebnisse erreicht werden.

Über die in der Prioritätenliste einstellbare minimale Einschaltzeit, minimale Ausschaltzeit, und maximale Ausschaltzeit kann auf die Zyklen der Verbraucher Einfluss genommen werden. Hiermit kann der Einsatz von Verbrauchern, z.B. Motoren für

bestimmte Aufgaben, auch dann erzwungen werden, wenn der Verbraucher gem. Prioritätenliste gerade zur Abschaltung ansteht, wodurch es auch ohne einen direkten Eingriff des Anwenders möglich ist, das Lastmanagement zu zwingen, Verbraucher am Netz zu belassen, obwohl sie gemäß Prioritätenliste zur Abschaltung anstünden.

Für den besonderen Fall, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Prozessführung die Anforderung für einen Verbraucher wichtiger ist als sein Verbleiben im Lastmanagement und in Folge auch wichtiger als die Verbrauchseinsparung durch seine Abschaltung, kann der Anwender jederzeit noch zusätzlich auf die Funktionalität Handbetrieb zurück greifen oder den Verbraucher zeitweise aus dem Lastmanagement heraus nehmen, wobei dies aufgrund der beobachteten Effekte nicht empfohlen werden kann.

Für die Kompensation des in Abschnitt /7.2.2/ beschriebenen Effekt der differierenden Leistungen eines Elektromotors, könnten vom Anwender die Motoren mit ihrer benötigten Leistung, anstelle ihrer Bemessungsleistung definiert werden. Ein Nachteil ist, die geforderte Leistung einer Maschine ist in ihrem Arbeitspunkt nicht fix und wird der Motor dann entgegen die Projektierung stärker belastet, kommt es wiederum zu einer Diskrepanz der schaltbaren Leistungen, doch hierbei kann die tatsächliche Leistung größer werden als die projektierte Leistung und das Lastmanagement kann somit unbemerkt mehr Leistung zuschalten als berechnet und dies kann die zuverlässige Funktion des Lastmanagements negativ beeinflussen.

8.5 Potentielle Zusatzmaßnahmen

Sollte das Lastmanagement ein gewünschtes Verhalten nicht aus eigener Funktionalität zur Verfügung stellen, können seitens des Anwenders immer noch zusätzlich programmiertechnische Eingriffe im Sinne einer externen Beschaltung der Bausteine des Lastmanagement vorgenommen werden, wobei zu unterscheiden ist nach Beschaltungen zur Bedienung und Steuerung der Verbraucher durch den Anwender und das Lastmanagement, wie in der Simulation Laststeuerung, oder die Beeinflussung des Lastmanagements in seiner Funktion selbst, wie in der Simulation Anlaufsteuerung.

Mögliche Eingriffe letzterer Art in das Programm müssen vom Anwender nur dann gemacht werden, wenn zu befürchten ist, dass das Lastmanagement allein durch Priorisierung und Abschaltregeln die gestellten Anforderungen innerhalb seiner Möglichkeiten nicht erfüllen kann, nur dann sollten vom Anwender zusätzliche technische Erweiterungen in das Programm der SPS eingebracht werden, wenn das Lastmanagement nicht manuell übersteuert oder zeitweilig außer Funktion gesetzt werden soll.

Generell sollten programmiertechnische Zusatzmaßnahmen zum automatischen Lastmanagement nur dann vorgenommen werden, wenn der Anwender durch das manuelle beeinflussen bestimmter Verbraucher im Lastmanagement undefinierte Situationen und Zustände erzeugen kann, in denen eine sichere Schaltbarkeit aller verbleibenden Verbraucher durch das Lastmanagement nicht sichergestellt werden kann.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Anhand der Erkenntnisse aus Abschnitt /7/ und in Verbindung mit den Überlegungen aus Abschnitt /8/ soll in diesem Kapitel eine Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse und darauf aufbauend ein Ausblick auf die weiteren Möglichkeiten und potentiellen Verbesserungen des hier untersuchten Lastmanagement-Systems gegeben werden.

9.1 Zusammenfassung

Durch das Monitoring von Messwerten kann über das Lastmanagement schon vorab für eine spätere merkliche Senkung des Stromverbrauchs gesorgt werden, indem der Prozess entsprechend geplant und koordiniert wird. Alle die Verbraucher, welche nicht schon in der Projektierungsphase berücksichtigt werden konnten, können mit dem aktiven Einsatz des automatischen Lastmanagements in ihrem Verbrauch überwacht und gesteuert werden und obwohl sich das gesamte Lastmanagement am ehesten auf Verbraucher in einem Unternehmen ausrichten lässt, die nicht oder nur geringfügig prozessrelevant sind, kann es dennoch ein probates Mittel sein, durch Abschalten dieser Lasten den Verbrauch optimal zu koordinieren ohne den Tarif zu überschreiten, wenn die Produktion ihre Lastspitzen erreicht.

Besondere Beachtung sollte in diesem Zusammenhang die Kosten-/Nutzen-Rechnung für das Lastmanagement finden, denn es wird vom Anwender immer zu prüfen sein, ob das Lastmanagement überhaupt rentabel eingesetzt werden kann, denn als potentielle Anwender sind primär gewerbliche Anwender im Fokus der Anbieter, wobei hier deutlich Firmen im Vorteil sind, die bereits mit SPS-Systemen arbeiten und wo eine Erweiterung auf ein SPS-basiertes Lastmanagement keinen zusätzlichen Aufwand bedeuten würde, denn Gewerbekunden, die vor Installation eines solchen Systems umfangreich die Grundlagen dafür schaffen müssen, werden die Anschaffung in jedem Fall intensiver prüfen und gegeben falls überdenken.

Aus den Ergebnissen der Simulationen und ihrer Auswertung ergeben sich im Wesentlichen zwei von einander unabhängige Erkenntnisse und Fazite:

1. Fazit: Ein umfangreiches Lastmanagement wird sich in den meisten Fällen nur bei großen Firmen rentabel einsetzen lassen für die es besonders im Zusammenhang mit der Befreiung von der EEG-Umlage interessant ist und es werden für seinen Einsatz mit hoher Wahrscheinlichkeit Systeme und Verbraucher gewählt werden, bei denen ein Lastabwurf keine gravierenden Auswirkungen auf den Prozess haben können und somit wird sich sein Umfang auf Verbraucher der Gebäudetechnik oder sekundäre Bereiche der Produktion beschränken.

2. Fazit: Bereits bei der Planung einer Anlage muss zwar ein entsprechender Aufwand bei der Identifizierung potentieller Verbraucher für das Lastmanagement, für die Prozessplanung und auch für die Planung und Installation der Peripherie zur Messdatengewinnung betrieben werden, dennoch bietet eine Kombination aus der Funktionen Monitoring, einer daraus resultierenden Prozessoptimierung und zuletzt die Implementierung eines automatisierten Lastmanagements die idealen Möglichkeiten, das mit dem Einsatz des Systems angestrebte Ziel der Energieeinsparung und Reduzierung der Energiekosten zu erreichen.

9.2 Ausblick

Im Zuge der Simulationen sind Eigenschaften des Systems augenscheinlich geworden, die potentielle Verbesserungen an der Software und der Bedienung von powerrate sinnvoll machen würden, die dem Anwender in der Zukunft mehr und umfassendere Möglichkeiten bei der Nutzung geben könnten, wobei besonders die drei folgenden Modifikationen am Programm sinnvoll erscheinen:

Vergrößerung des Steuerungsumfangs: Im Zuge der zu erwartenden größeren Verbreitung von Lastmanagementsystemen wäre auch eine Vergrößerung des Funktionsumfanges überdenkenswert. Dazu könnte die Fähigkeit zur Verwaltung von mehr als 100 Verbrauchern durch den Baustein PRE_LMGM zählen als auch die Fähigkeit zur Vernetzung, so dass der Baustein in die Lage versetzt wird, sich

mit anderen Instanzen auf verteilten SPS zu koordinieren, wenn eine Anlage mit mehr als 100 Verbrauchern gemanagt werden soll.

Überarbeitung der Prioritätslisten: Dem Lastmanagement sollte die Möglichkeit gegeben sein, die Prioritätslisten variabel auszulegen, indem das Lastmanagement in die Lage versetzt werden könnte, bei einer Differenz zwischen Tarif und Trend eine Suche nach einem leistungsmäßig passenden und zuschaltbaren Verbraucher auszuführen, auch wenn dessen Priorität bisweilen niedriger ist, als die des in der Reihenfolge nächsten Verbrauchers.

Speicherfunktion für Verbraucherleistungen: Das Lastmanagement sollte in der Lage sein, zu jedem Verbraucher den letzten Leistungswert zu speichern, der beim Abschalten anlag, was den im Zusammenhang mit der Schaltung von Elektromotoren erwähnten Effekt, der sich aus dem Unterschied zwischen geforderter und Bemessungsleistung ergibt, beheben kann. Die Verbraucher könnten bei entsprechender Differenz zwischen Tarif und Trend zugeschaltet werden, wenn so seine tatsächliche benötigte Leistung anstelle der projektierten Bemessungsleistung als Entscheidungsgrund heran gezogen würde.

Generell ist zu erwarten, dass die Systeme in ihren Funktionen mit der Nutzungsdauer erheblich verbessert und erweitert werden, besonders in Anzahl der steuerbaren Verbraucher wird sich durchaus noch erhöhen, denn die bis zu 100 Verbrauchern das untersuchten Systems sind im Hinblick auf energieintensive Industrieunternehmen z.B. aus der Automobilbranche eher eine kleine Anzahl an elektrischen Verbrauchern, andernfalls müsste man in derartigen Anlagen und Unternehmen mit mehreren Instanzen des Lastmanagements powerrate verteilt auf eine Vielzahl von SPS arbeiten, um in derartigen Anlagen ein vollständiges Lastmanagement aller Verbraucher durchführen zu können.

Aufgrund fehlender Vergleichsmöglichkeiten aus dem Segment des automatisierten Lastmanagements konnte nur die Lösung der Firma SIEMENS in dem für industrielle Steuerungen angesiedelten Geschäftsbereich behandelt werden, wobei zu erwarten ist, dass im Zuge des stetig wachsenden Energiebedarfs bei gleichzeitiger Ressourcenverknappung im Energiesektor die Kosten für Elektrische Energie generell weiter zunehmen werden und in dieser Tatsache in Zukunft das Potential für eine

steigende Nachfrage nach einem effektiven, die Kosten reduzierenden Last- oder Energiemanagement liegt und dies nicht nur seitens entsprechend großer Firmen mit energieintensiver Produktion, sondern auch von Privatkunden mit entsprechend großen Häusern, die ihren Verbrauch optimieren möchten.

Aus dieser Konstellation heraus und den zukünftigen Entwicklungen ist folglich zu erwarten, dass in den nächsten Jahren dieses Segment der automatisierten Steuerungen auch bei anderen Anbietern entweder etabliert oder ein bereits bestehendes Angebot weiter ausgebaut wird und es somit noch umfassendere und detailliertere Lösungen auch von weiteren Anbietern im Bereich des Energie- oder Lastmanagements geben wird.

10 Quellen und Literatur

- [DIN12] DIN; DIN EN ISO 50001 - Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2011); DIN; 2011-12
- [BMU12] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare Energien Gesetz - EEG) vom 28. Dezember 2012; BGBl. I S. 2730, 2743 f; 2012
- [POS10] Wolfgang Posch; Ganzheitliches Energiemanagement für Industriebetriebe; Gabler Research, 2010
- [SFB06] Bernd Schieferdecker, Christian Fuenfgeld, Alexis Bonneschky; Energiemanagement-Tools – Anwendungen in Industrieunternehmen; Springer; 2006
- [SIE03a] SIEMENS AG; SIMATIC NET S7–CPs für Industrial Ethernet (CP 443–1 IT für Industrial Ethernet) Gerätehandbuch Teil B5; Bestell.: C79000–G8900–C144–05; 02/2003
- [SIE03b] SIEMENS AG; SIMATIC ET 200S Interfacemodul IM 151-7 CPU Handbuch; Bestell.: A5E00058779-04; 11/2003
- [SIE06a] SIEMENS AG; SIMATIC System- und Standardfunktionen für S7-300/400 Band 1/2 Referenzhandbuch (Diese Dokumentation ist Bestandteil des Dokumentationspaketes mit der Bestellnummer: 6ES7810-4CA08-8AW1); Bestell.: A5E00709321-02; 03/2006
- [SIE06b] SIEMENS AG; SIMATIC Hardware konfigurieren und Verbindungen projektieren mit STEP 7 Handbuch (Diese Dokumentation ist Bestandteil des Dokumentationspaketes mit der Bestellnummer: 6ES7810-4CA08-8AW0); Bestell.: A5E00706938-02; 03/2006
- [SIE06c] SIEMENS AG; SIMATIC Programmieren mit STEP 7 Handbuch (Diese Dokumentation ist Bestandteil des Dokumentationspaketes mit der Bestellnummer: 6ES7810-4CA08-8AW0); Bestell.: A5E00706943-02; 03/2006
- [SIE06d] SIEMENS AG; SIMATIC Anweisungsliste (AWL) für S7-300/400 Referenzhandbuch (Diese Dokumentation ist Bestandteil des Dokumentationspaketes mit der Bestellnummer: 6ES7810-4CA08-8AW1); Bestell.: A5E00706959-02; 03/2006
- [SIE06e] SIEMENS AG; SIMATIC Prozessleitsystem PCS 7 V7.0 Programmieranleitung Bausteine Handbuch; Bestell.: A5E00978907-02; 11/2006
- [SIE07a] SIEMENS AG; SIMATIC NET S7–CPs für Industrial Ethernet Projektieren und in Betrieb nehmen Handbuch Teil A – Allgemeine Anwendung; Bestell.: C79000–G8900–C182–07; 01/2007

- [SIE07b] SIEMENS AG; SIMATIC Prozessleitsystem PCS 7 V7.0 SP1 PCS 7 - Getting Started Teil 1 Getting Started; Bestell.: A5E00857257-03; 09/2007
- [SIE07c] SIEMENS AG; SIMATIC Prozessleitsystem PCS 7 V7.0 SP1 Getting Started - Teil 2 Getting Started, Bestell.: A5E00857267-03; 09/2007
- [SIE07d] SIEMENS AG; SIMATIC Prozessleitsystem PCS 7 V7.0 SP1 Engineering System Projektierungshandbuch; Bestell.: A5E00808639-03; 09/2007
- [SIE08a] SIEMENS AG; SENTRON Multifunktionsmessgerät SENTRON PAC3200 Gerätehandbuch; Bestell.: A5E01168664A-04; 02/2008
- [SIE08b] SIEMENS AG; SIMATIC Controller Die innovative Lösung für alle Automatisierungsaufgaben Broschüre • April 2008; 04/2008
- [SIE08c] SIEMENS AG; SIMATIC NET S7-CPs für Industrial Ethernet Projektieren und in Betrieb nehmen Projektierungshandbuch Teil A – Allgemeine Anwendung; Bestell.: C79000-G8900-C182-09; 05/2008
- [SIE09a] SIEMENS AG; Energiemanagement für PCS 7 SIMATIC PCS 7 powerrate Programmier- und Bedienhandbuch V3.0; Bestell.: A5E02306635A-01; 01/2009
- [SIE09b] SIEMENS AG; Energiemanagement für WinCC SIMATIC WinCC powerrate Programmier- und Bedienhandbuch V3.0; Bestell.: A5E02308525A-01, 01/2009
- [SIE09c] SIEMENS AG; SIMATIC Prozessleitsystem PCS 7 CFC für SIMATIC S7 Funktionshandbuch; Bestell.: A5E02109225-02; 03/2009
- [SIE10] SIEMENS AG; SIMATIC powerrate für PCS 7 SIMATIC PCS 7 powerrate Projektieranleitung FAQ SIMATIC powerrate für PCS 7 Version: 01; Beitrags-ID: 46463467; 11/2010
- [SIE11a] SIEMENS AG; Niederspannungs-Energieverteilung und Elektroinstallationstechnik Kommunikations- und Erweiterungsmodule - PAC PROFIBUS DP, SWITCHED ETHERNET PROFINET Gerätehandbuch; Bestell.: A5E01168846A-07; 02/2011
- [SIE11b] SIEMENS AG; SIMATIC ET 200S Motorstarter Fehlersichere Motorstarter Sicherheitstechnik Handbuch; Bestell.: GWA-4NEB950007201-14; 03/2011
- [SIE11c] SIEMENS AG; SIMATIC Dezentrale Peripherie ET 200S Interfacemodul IM151-7 CPU Betriebsanleitung; Bestell.: A5E00058779-05, 10/2011
- [SIE11d] SIEMENS AG; SIMATIC Hochverfügbare Systeme S7-400H Systemhandbuch; Bestell.: A5E00267693-10; 11/2011
- [SIE12] SIEMENS AG; SIMATIC HMI SIMATIC powerrate für WinCC Programmier- und Bedienhandbuch Ausdruck der Online-Hilfe; Bestell.: A5E03259862-02; 05/2012

11 Anlagen

Anlage A - Mensch-Maschine-Interface

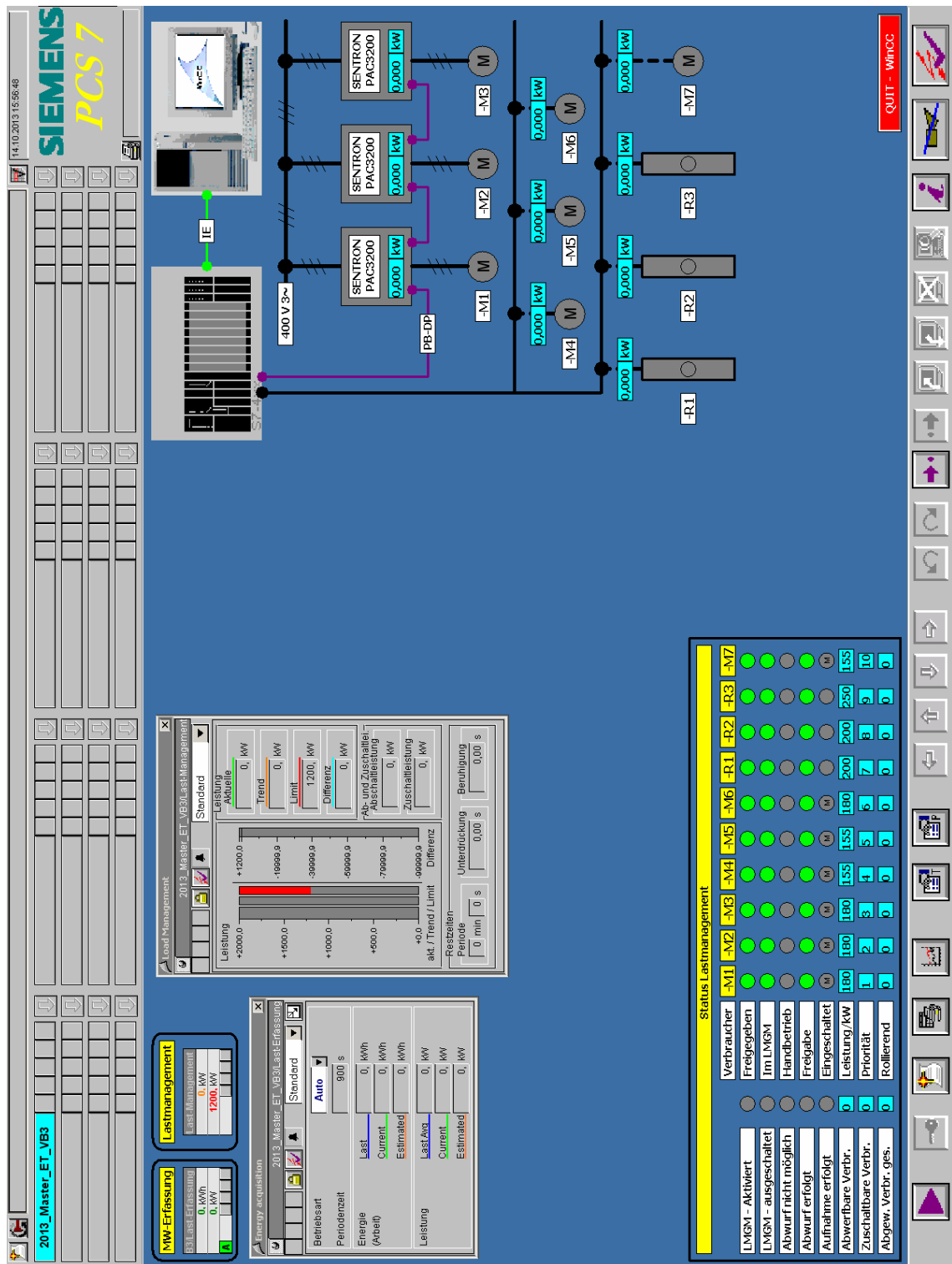


Abbildung 11-1: Mensch-Maschine-Interface der Simulation

Anlage B - CFC der Simulation Laststeuerung

Der CFC der Laststeuerung beinhaltet fünf Seiten:

Seite 1: Plan-Übersicht

Seite 2: CFC-Plan Seite 1

Seite 3: CFC-Plan Seite 2

Seite 4: CFC-Plan Seite 3

Seite 5: CFC-Plan Seite 4

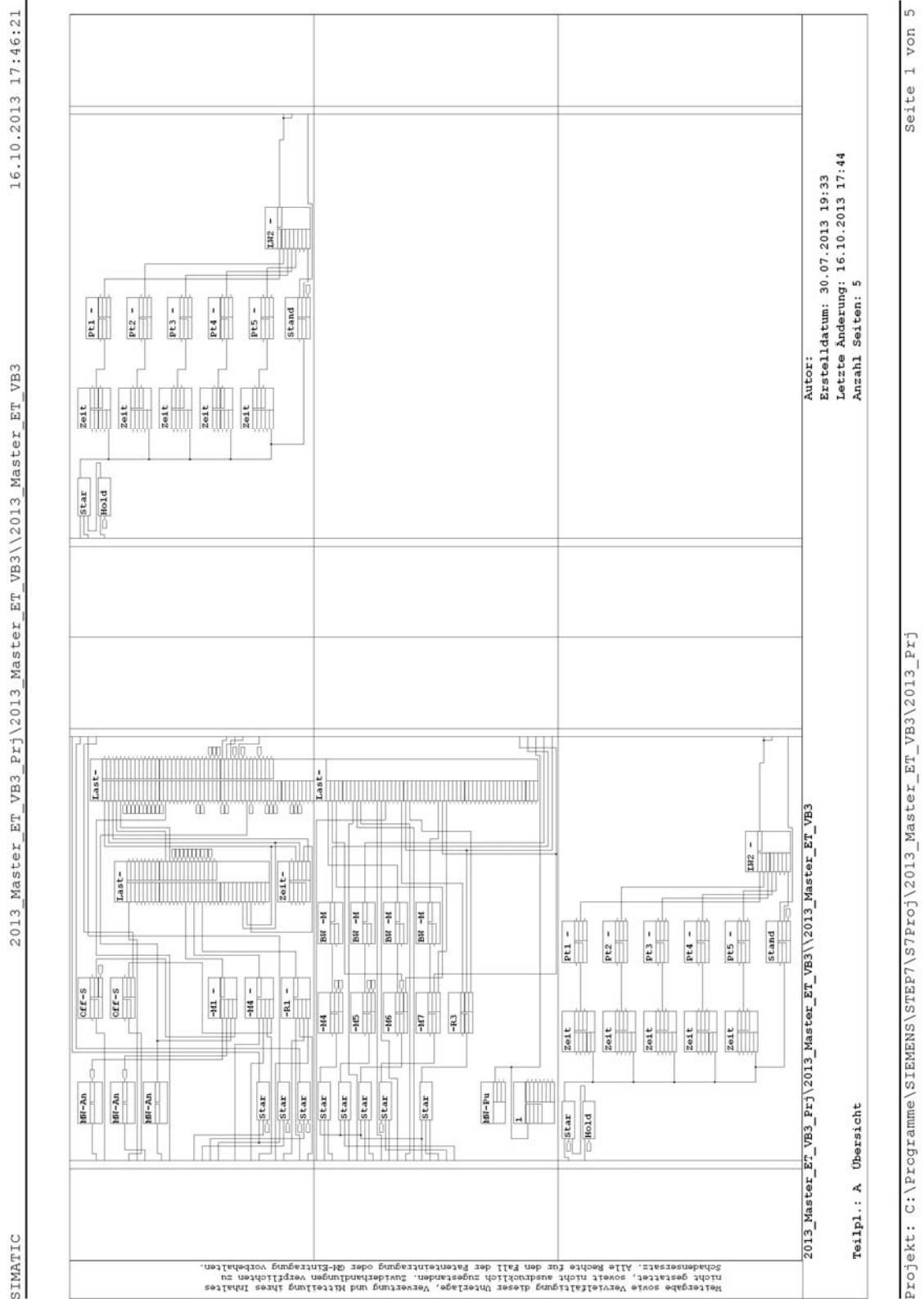
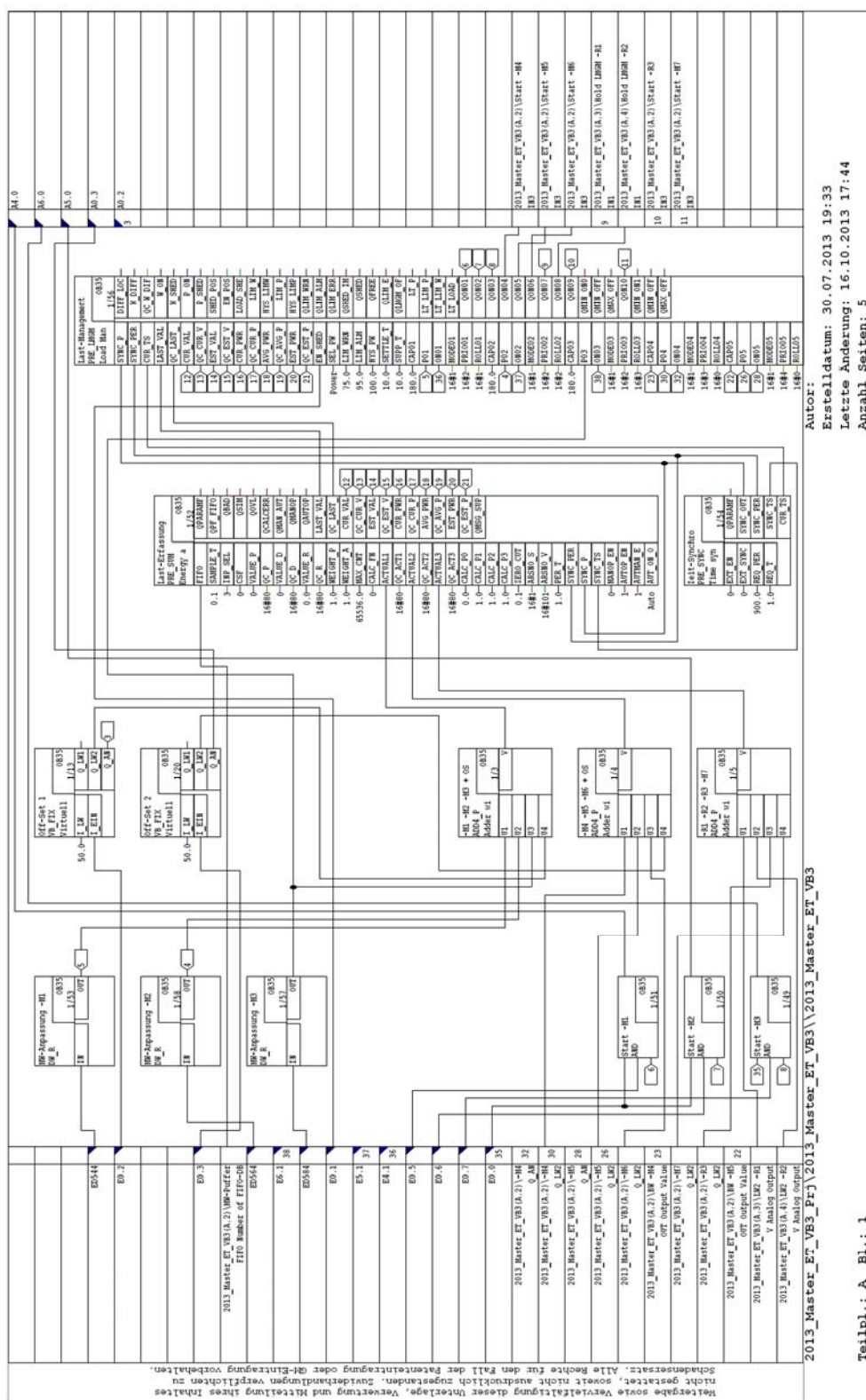


Abbildung 11-2: CFC der Simulation Laststeuerung – Übersicht



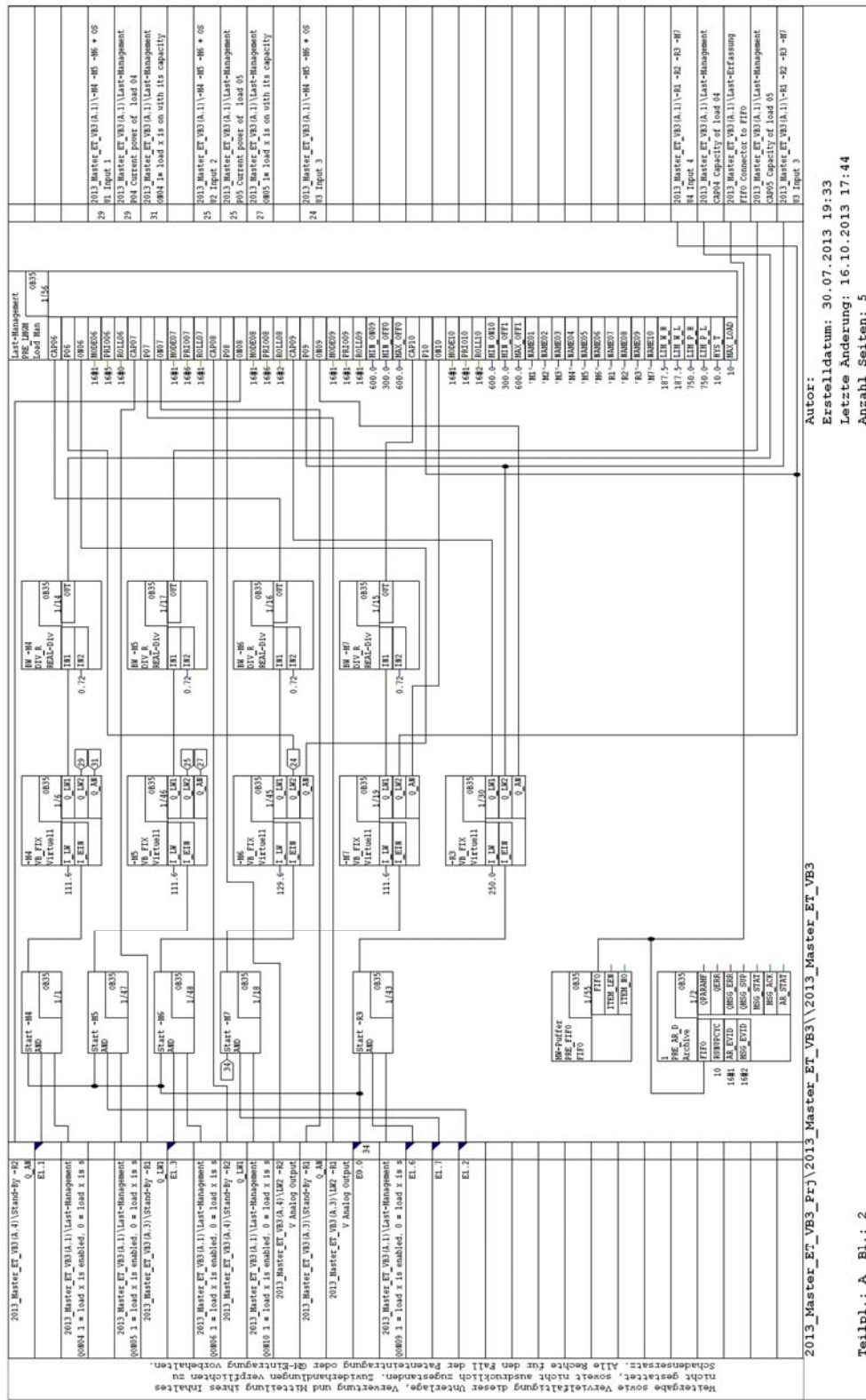


Abbildung 11-4: CFC der Simulation Laststeuerung - Seite 3

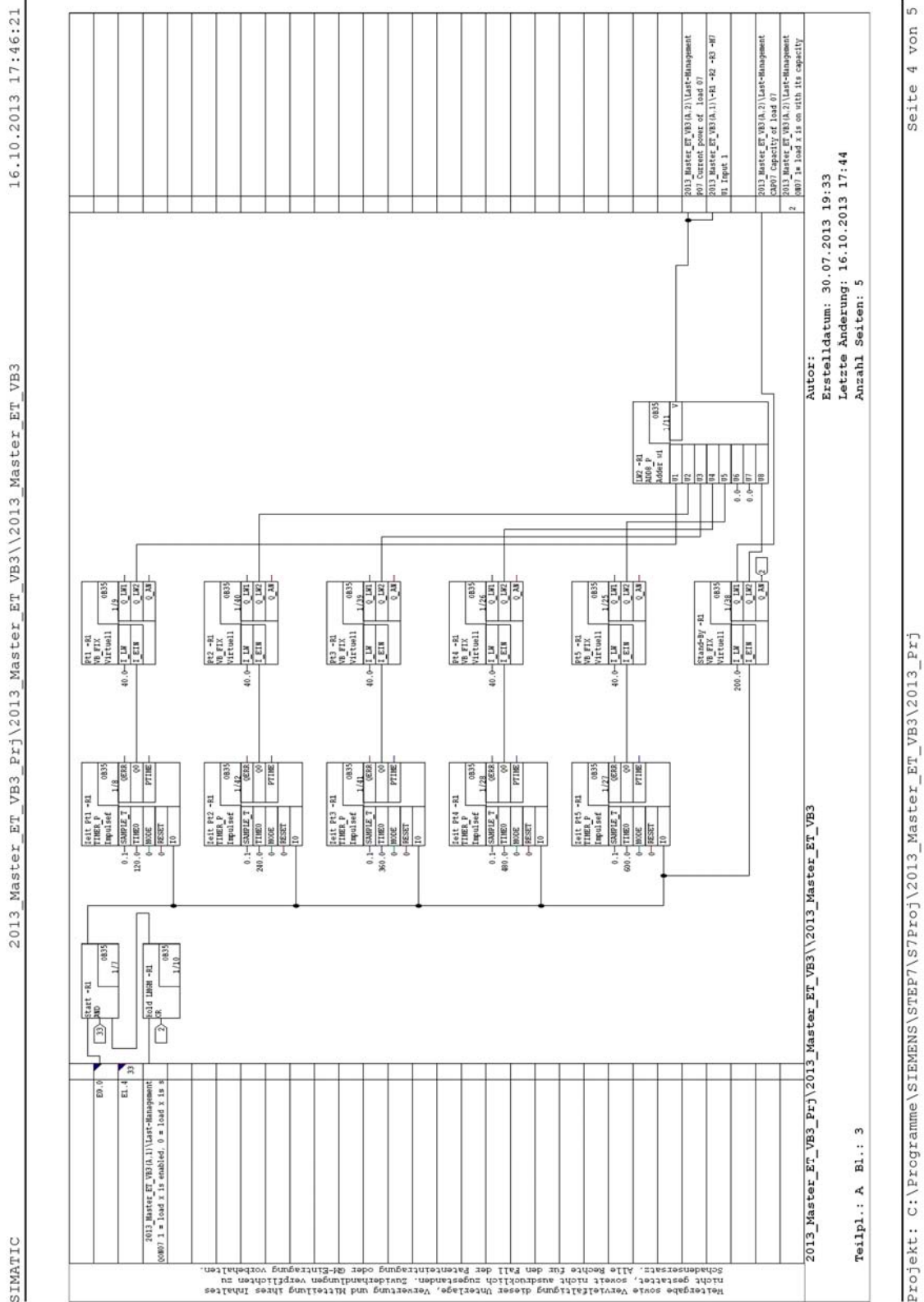
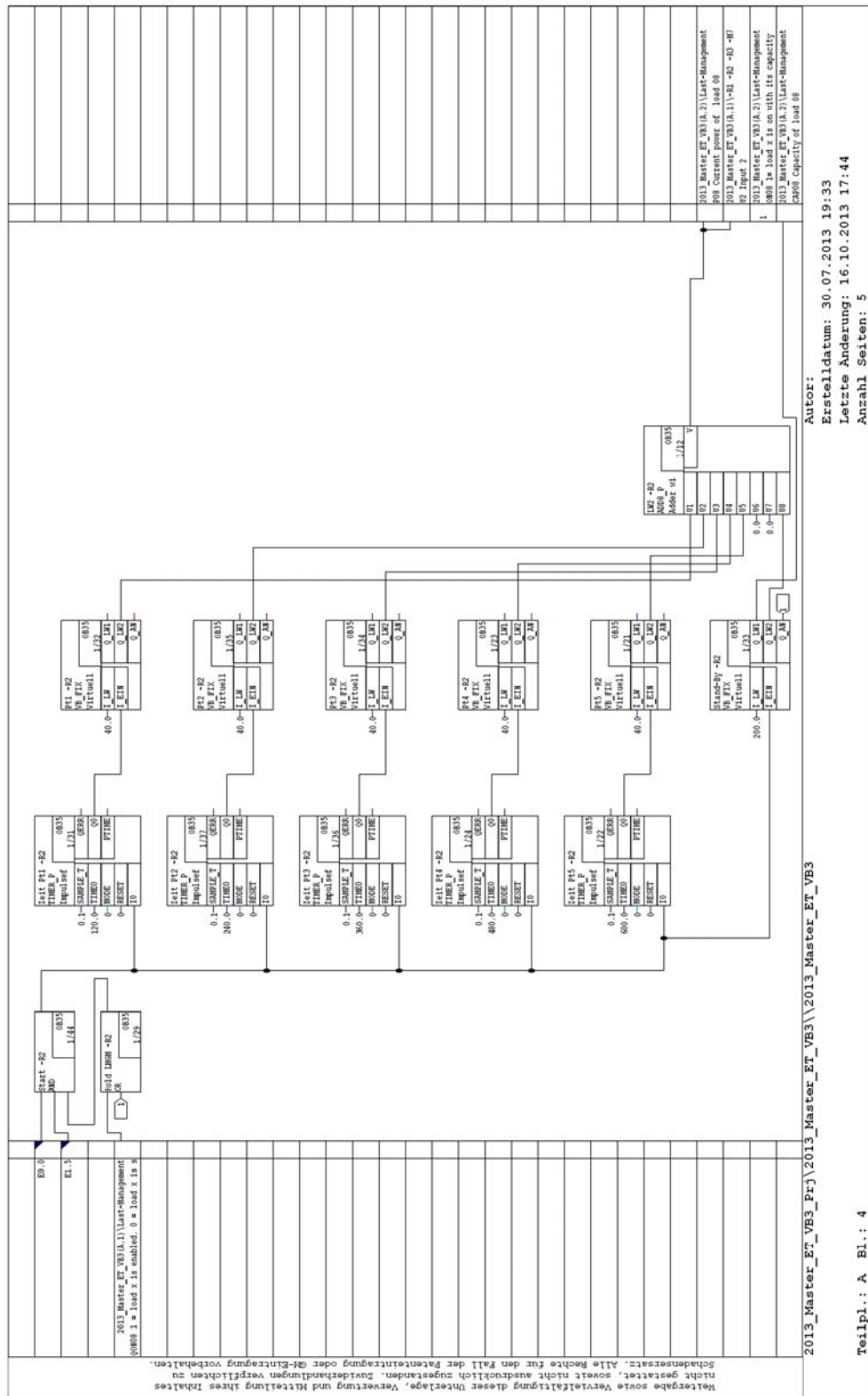


Abbildung 11-5: CFC der Simulation Laststeuerung - Seite 4

16.10.2013 17:46:21

2013_Master_ET_VB3_Prj\2013_Master_ET_VB3\2013_Master_ET_VB3

SIMATIC



Seite 5 von 5

Projekt: C:\Programme\SIEMENS\STEP7\S7Proj\2013_Master_ET_VB3\2013_Prj

Abbildung 11-6: CFC der Simulation Laststeuerung - Seite 5

Anlage C - CFC der Simulation Anlaufsteuerung

Der CFC der Anlaufsteuerung beinhaltet fünf Seiten:

Seite 1: Plan-Übersicht

Seite 2: CFC-Plan Seite 1

Seite 3: CFC-Plan Seite 2

Seite 4: CFC-Plan Seite 3

Seite 5: CFC-Plan Seite 4

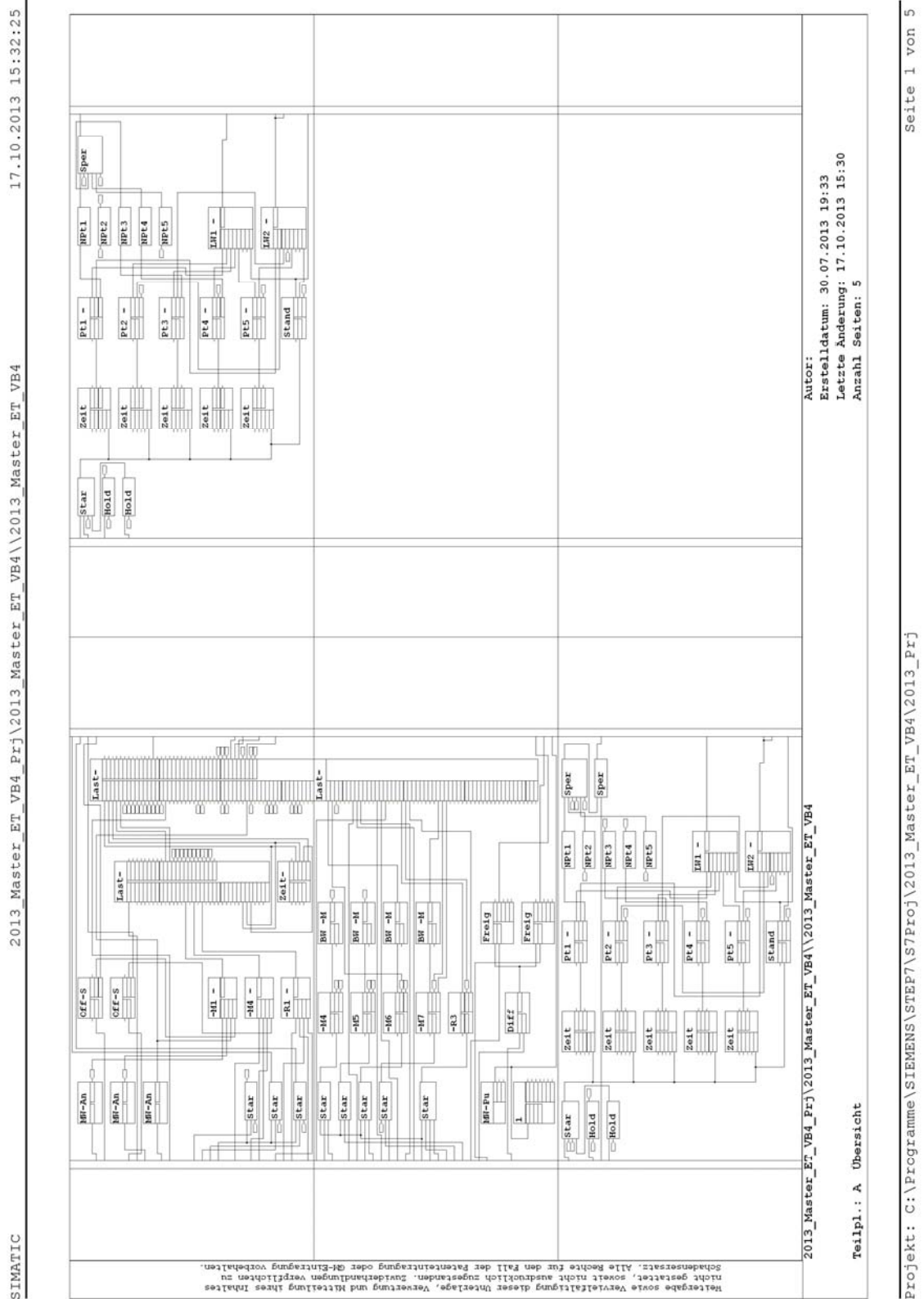


Abbildung 11-7: CFC der Simulation Anlaufsteuerung - Übersicht

2013_Master_ET_VB4_Prj\2013_Master_ET_VB4\2013_Master_ET_VB4

17.10.2013 15:32:25

SIMATIC

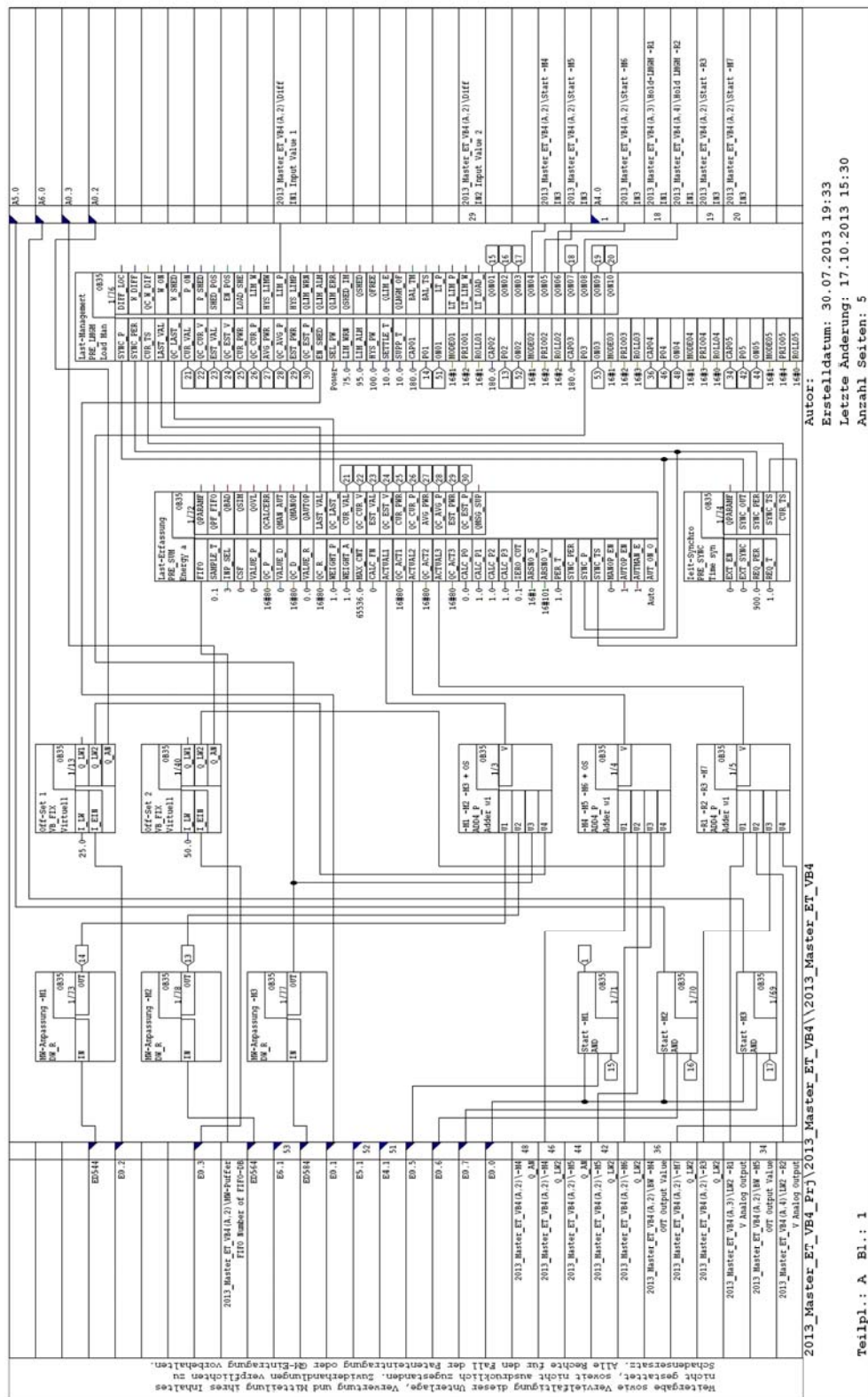
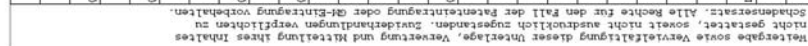


Abbildung 11-8: CFC der Simulation Anlaufsteuerung - Seite 2



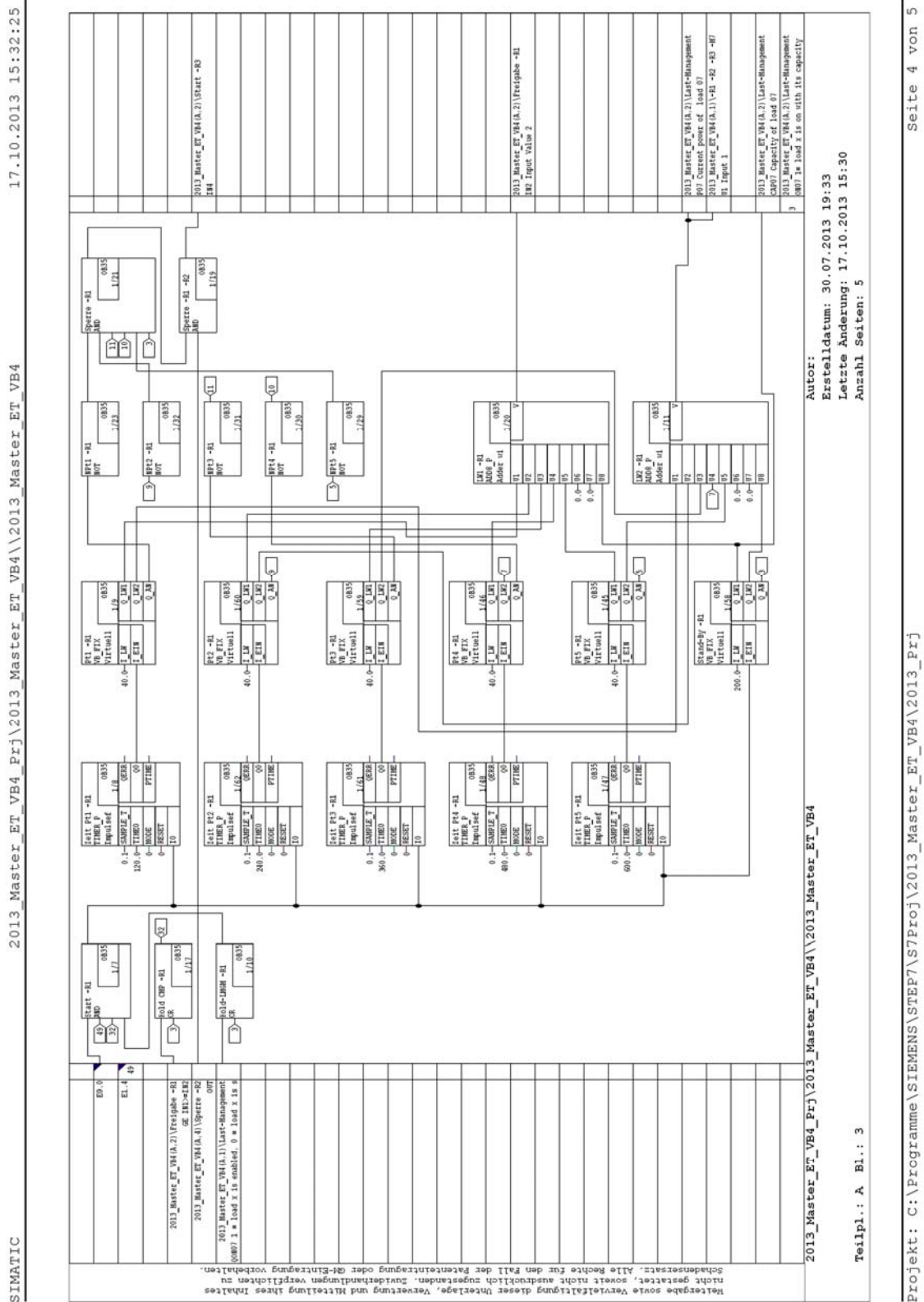


Abbildung 11-10: CFC der Simulation Anlaufsteuerung – Seite 4

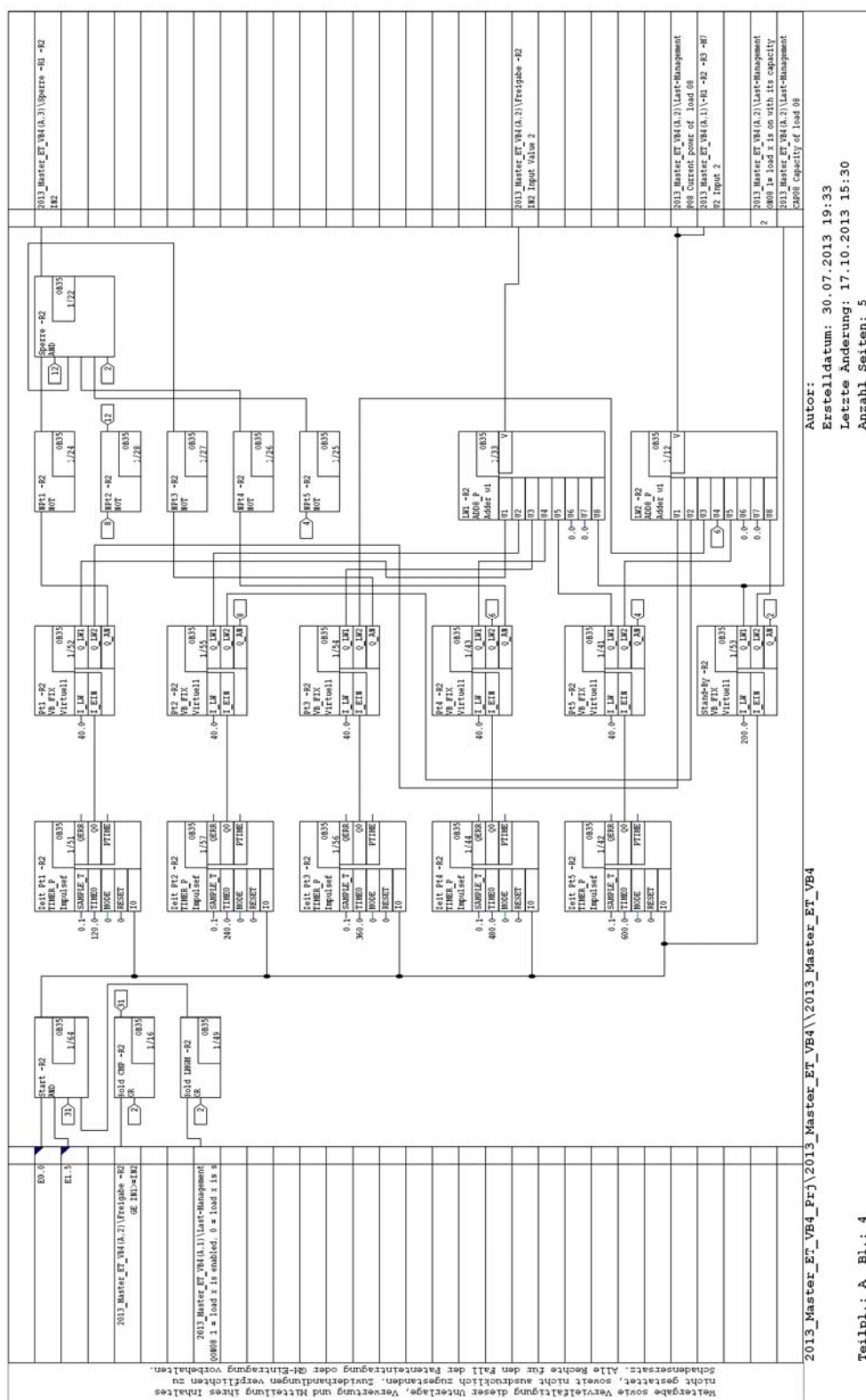


Abbildung 11-11: CFC der Simulation Anlaufsteuerung – Seite 5

Anlage D - AWL des Funktionsbausteins FB150 (VB_FIX)

Eingänge:

Name	Datentyp	Adresse	Anfangswert
I_LW	REAL	0.0	0.000000e+000
I_EIN	BOOL	4.0	FALSE

Ausgänge:

Name	Datentyp	Adresse	Anfangswert
Q_LW1	REAL	6.0	0.000000e+000
Q_LW2	REAL	10.0	0.000000e+000
I_EIN	BOOL	14.0	FALSE

```

L      0.000000e+000    //Wert 0.0 in Akku 1 laden
T      #Q_LW2           //Lastwert Verbraucher zuweisen

U      #I_EIN           //Prüfe ob Verbraucher = EIN
=      #Q_AN            //Rückmeldung Verbraucher = EIN
L      #I_LW            //Wert aus I_VB_LW in Akku 1 laden
T      #Q_LW1           //Lastwert Verbraucher zuweisen
SPBN   END              //Wenn nicht, zur Endmarke springen

L      #I_LW            //Wert aus I_VB_LW in Akku 1 laden
T      #Q_LW2           //Lastwert Verbraucher zuweisen
+R                                           //Akku 1 mit Akku 2 addieren

END:   BE               //Baustein-Ende

```

Anlage E - Verbraucher-Zeit-Matrix - Vorlage

Periode	Zeit	Verbraucher									
#	HH:MM:SS	-M1	-M2	-M3	-M4	-M5	-M6	-R1	-R2	-R3	-M7
-/-		Start WinCC Runtime									
		LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
		*									
0-15											
		*									
15-30											
		*									
45-60											
		*									
60-75											
		*									
75-90											
		*									
90-105											
		*									
105-120											
		*									
120-135											
		*									
135-150											
		*									
150-165											
		*									
165-180											
		*									

Tabelle 11-1: Verbraucher-Zeit-Matrix - Vorlage

Die mit * markierten Zeilen dienen der Eintragung von nicht allgemein gültigen und nicht Verbraucher bezogenen Meldungen.

Die Schaltzustände der einzelnen Verbraucher werden beim Ausfüllen der Tabelle 11-1 wie folgt dargestellt:

- Keine Markierung: Verbraucher Aus
- X: Verbraucher An
- HF: im Handbetrieb (mit Freigabe)
- LF: im Lastmanagement (mit Freigabe)
- ME: vom Anwender eingeschaltet
- VE: verzögert eingeschaltet (nur bei Anlaufsteuerung)
- MA: vom Anwender ausgeschaltet
- LE: vom LMGM eingeschaltet (Lastaufnahme)
- LA: vom LMGM abgeschaltet (Lastabwurf)

Die vom Lastmanagement abgestrahlten Warnungen und Alarmer sind in der Tabelle wie folgt gekennzeichnet:

- (K) Meldung gekommen
- (G) Meldung gegangen

Anlage F - Verbraucher-Zeit-Matrix - Laststeuerung

Periode	Zeit	Verbraucher									
#	HH:MM:SS	-M1	-M2	-M3	-M4	-M5	-M6	-R1	-R2	-R3	-M7
-	16:08:00.000	Start WinCC Runtime									
		LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
		Zuschaltung Off-Set 1 mit 25 kW und Off-Set 2 mit 50 kW									
		Aktivierung der Anlage Freigabe an das Lastmanagement → Status-Anzeige "Keine Verbraucher abwerfbar" (Keine Meldung über das Faceplate)									
0-15	16:15:00.095	Lastmanagement aktiv → Meldung "Ungültiges Limit" → Start Synchronisierung → Start Protokollierung									
	16:15:10.000				ME	ME	ME				
15-30	16:30:10.000				X	X	X	ME	ME	ME	ME
	16:30:13.495	LA			X	X	X	X	X	X	X
	16:30:13.895				LA	X	X	X	X	X	X
	16:30:23.595	Meldung "Keine Verbraucher abwerfbar"									
	16:30:23.596					LA	X	X	X	X	X
	16:30:23.695	Meldung "Warnung Bevorstehende Limitüberschreitung 365.72 kWh/1462.87 kW" (K) Meldung "Alarm Bevorstehende Limitüberschreitung 365.72 kWh/1462.87 kW" (K)									
	16:30:23.995						LA	X	X	X	X
	16:30:24.395							LA	X	X	X
	16:34:11.595	Meldung "Alarm Bevorstehende Limitüberschreitung 282.72 kWh/1130.88 kW" (G)									
	16:40:13.495	Meldung "Keine Verbraucher abwerfbar"									
	16:40:13.496							LE	X	X	X
	16:40:13.595	Meldung "Warnung Bevorstehende Limitüberschreitung 248.35 kWh/993.42 kW" (G)									
	16:40:23.595						LE	X	X	X	X
	16:40:33.695					LE	X	X	X	X	X
30-45	-/-					X	X	X	X	X	X
45-60	17:14:30.000	ME		ME		X	X	X	X	X	X
60-75	17:15:10.195			X		LA	X	X	X	X	X
	17:18:50.000			MA			X	X	X	X	X
	17:19:37.995					LE	X	X	X	X	X
	17:22:33.000					X	X	X	X	X	MA
	17:22:33.695				LE	X	X	X	X	X	
	17:24:20.000				X	X	X	X	X	X	ME
75-90	-/-				X	X	X	X	X	X	X
90-105	-/-				X	X	X	X	X	X	X
105-120	18:11:35.000				MA	MA	MA	X	X	X	X
	18:13:20.000				ME	ME		X	X	X	X
120-135	18:15:29.000				X	MA		X	X	X	X
	18:15:42.695	LE			X			X	X	X	X

Anlagen

Periode	Zeit	Verbraucher									
#	HH:MM:SS	-M1	-M2	-M3	-M4	-M5	-M6	-R1	-R2	-R3	-M7
	18:17:30.000	X		ME	X			X	X	X	X
	18:19:10.000	X		X	X	ME		X	X	X	X
	18:19:18.495	X	LA	X	X	X		X	X	X	X
	18:19:18.595	X		X	LA	X		X	X	X	X
135-150	18:30:10.195	X		X		LA		X	X	X	X
	18:34:10.000	MA		MA				X	X	X	X
	18:34:59.495					LE		X	X	X	X
	18:34:59.495				LE	X		X	X	X	X
	18:37:10.000				X	X	ME	X	X	X	X
	18:42:20.000		HF		X	X	X	X	X	X	X
	18:43:30.000		ME		X	X	X	X	X	X	X
	18:44:30.000	ME	X	ME	X	X	X	X	X	X	X
150-165	18:45:10.195	X	X	LA	X	X	X	X	X	X	X
	18:45:10.495	X	X		LA	X	X	X	X	X	X
	18:45:10.995	X	X			LA	X	X	X	X	X
	18:45:11.395	X	X				LA	X	X	X	X
	18:48:00.000	X	MA					X	X	X	X
	18:48:01.795	X					LE	X	X	X	X
	18:51:05.000	X					X	X	X	MA	MA
	18:51:10.795	X				LE	X	X	X		
	18:51:20.895	X			LE	X	X	X	X		
	18:53:40.000	MA			X	X	X	X	X		
	18:53:59.595			LE	X	X	X	X	X		
	18:58:00.000			X	X	X	X	X	X		ME
	18:58:30.000			X	X	X	X	X	X	ME	X
165-180	19:00:10.195	LA		X	X	X	X	X	X	X	X
	19:00:10.595			X	X	LA	X	X	X	X	X
	19:00:10.995			X	LA		X	X	X	X	X
	19:03:10.000			MA			X	X	X	X	X
	19:03:23.795					LE	X	X	X	X	X
	19:07:30.000					X	MA	X	X	X	X
	19:07:32.995				LE	X		X	X	X	X
	19:08:30.000				X	X	ME	X	X	X	X
180-195	19:28:00.000				MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
	19:29:00.000	Anlage und Lastmanagement ausgeschaltet Off-Set 1 und 2 ausgeschaltet									
	19:30:00.000	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF

Tabelle 11-2: Verbraucher-Zeit-Matrix - Laststeuerung - Simulation 1

Anlage G - Verbraucher-Zeit-Matrix - Anlaufsteuerung

Periode	Zeit	Verbraucher									
#	HH:MM:SS	-M1	-M2	-M3	-M4	-M5	-M6	-R1	-R2	-R3	-M7
-/-	16:07:00.000	Start WinCC Runtime									
		LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF
		Zuschaltung Off-Set 1 mit 25 kW und Off-Set 2 mit 50 kW									
		Aktivierung der Anlage Freigabe an das Lastmanagement → Status-Anzeige "Keine Verbraucher abwerfbar" (keine Meldung über das Faceplate)									
0-15	16:15:00.057	Lastmanagement aktiv → Meldung: "Ungültiges Limit" → Start Synchronisierung → Start Protokollierung									
	16:16:00.000				ME	ME	ME				
15-30	16:30:40.000				X	X	X	ME	ME	ME	ME
30-45	16:45:20.000				X	X	X	X	VE		X
	16:55:20.000				X	X	X	X	X	VE	X
45-60	-/-				X	X	X	X	X	X	X
60-75	17:29:30.000	ME		ME	X	X	X	X	X	X	X
75-90	17:30:10.195			X		LA	X	X	X	X	X
	17:33:50.000			MA			X	X	X	X	X
	17:34:37.995					LE	X	X	X	X	X
	17:37:33.000					X	X	X	X	X	MA
	17:37:33.695				LE	X	X	X	X	X	
	17:39:20.000				X	X	X	X	X	X	ME
90-105	-/-				X	X	X	X	X	X	X
105-120	-/-				X	X	X	X	X	X	X
120-135	18:26:35.000				MA	MA	MA	X	X	X	X
	18:28:20.000				ME	ME		X	X	X	X
135-150	18:30:29.000				X	MA		X	X	X	X
	18:30:42.695	LE			X			X	X	X	X
	18:32:30.000	X		ME	X			X	X	X	X
	18:34:10.000	X		X	X	ME		X	X	X	X
	18:34:18.495	X	LA	X	X	X		X	X	X	X
	18:34:18.995	X		X	LA	X		X	X	X	X
150-165	18:45:10.195	X		X		LA		X	X	X	X
	18:49:10.000	MA		MA				X	X	X	X
	18:49:59.495					LE		X	X	X	X
	18:49:59.995				LE	X		X	X	X	X
	18:52:10.000				X	X	ME	X	X	X	X
	18:57:20.000		HF		X	X	X	X	X	X	X
	18:58:30.000		ME		X	X	X	X	X	X	X
	18:59:30.000	ME	X	ME	X	X	X	X	X	X	X
165-180	19:00:10.195	X	X	LA	X	X	X	X	X	X	X

Anlagen

Periode	Zeit	Verbraucher									
#	HH:MM:SS	-M1	-M2	-M3	-M4	-M5	-M6	-R1	-R2	-R3	-M7
	19:00:10.495	X	X		LA	X	X	X	X	X	X
	19:00:10.995	X	X			LA	X	X	X	X	X
	19:00:11.395	X	X				LA	X	X	X	X
	19:03:00.000	X	MA					X	X	X	X
	19:03:01.795	X					LE	X	X	X	X
	19:06:05.000	X					X	X	X	MA	MA
	19:06:10.795	X				LE	X	X	X		
	19:06:20.895	X			LE	X	X	X	X		
	19:08:40.000	MA			X	X	X	X	X		
	19:08:59.595			LE	X	X	X	X	X		
	19:13:00.000			X	X	X	X	X	X		ME
	19:13:30.000			X	X	X	X	X	X	ME	X
180-195	19:15:10.195	LA		X	X	X	X	X	X	X	X
	19:15:10.595			X	X	LA	X	X	X	X	X
	19:15:10.995			X	LA		X	X	X	X	X
	19:18:10.000			MA			X	X	X	X	X
	19:18:23.795					LE	X	X	X	X	X
	19:22:30.000					X	MA	X	X	X	X
	19:22:32.995				LE	X		X	X	X	X
	19:23:30.000				X	X	ME	X	X	X	X
195-210	19:43:00.000				MA	MA	MA	MA	MA	MA	MA
	19:44:00.000	Anlage und Lastmanagement ausgeschaltet Off-Set 1 und 2 ausgeschaltet									
	19:45:00.000	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF	LF

Tabelle 11-3: Verbraucher-Zeit-Matrix - Anlaufsteuerung - Simulation 1

Anlage H - Beschreibung der Bausteine der Bibliothek powerrate

Diese Beschreibung enthält den Original-Text der Online-Hilfe zu den verwendeten Bausteinen der powerrate Bibliothek in der Reihenfolge der Nummerierung. Hierbei einhalten sind folgende Bausteine:

- PRE_SYNC (FB1060)
- PRE_SUM (FB1061)
- PRE_FIFO_DATA (FB1062)
- PRE_AR_DATA (FB1063)
- PRE_LMGGM (FB1065)

Diese Beschreibungen sind weitestgehend identisch zu den Beschreibungen der Bausteine in den Handbüchern [SIE09a] und [SIE09b].

H1. PRE_SYNC (FB1060)

Beschreibung von PRE_SYNC

FB1060

Aufrufende OBs

Der Weckalarm-OB, in den der Baustein eingebaut wird (z.B. OB32). Zusätzlich im OB100 (siehe Anlaufverhalten).

Aufgerufene Bausteine

Der Baustein ruft folgende Bausteine auf:

SFC1	READ_CLK
SFC6	RD_SINFO
FC1	AD_DT_TM (IEC-Funktion aus STEP 7 Standard Library)
FC34	SB_DT_DT (IEC-Funktion aus STEP 7 Standard Library)

Funktion

Der Baustein fungiert als Taktgeber zur Zeitsynchronisation für den Baustein zur Energieerfassung PRE_SUM.

Der Taktgeber SYNC_OUT wird durch ein externes Synchronisationssignal (EXT_SYNC) oder die interne CPU-Uhrzeit getriggert.

Ist die externe Synchronisation deaktiviert (EXT_EN = FALSE), beinhaltet REQ_PER die Periodenzeit für die Synchronisation.

Bei externer Synchronisation (EXT_EN = TRUE) wird der Zeitstempel für den Synchronisationsimpuls (SYNC_TS) auf den nächsten ganzen Zeitwert (z.B. 15-Minuten-Wert) entsprechend der erwarteten Periodenzeit des externen Synchronisationssignals (REQ_PER) und des aktuellen CPU-Zeitstempels gerundet.

Meldeverhalten

Der Baustein hat kein Meldeverhalten

Fehlverhalten

Der Fehlerausgang QPARAMF wird gesetzt, wenn

- Synchronisationsperiode REQ_PER oder Synchronisationsimpuls REQ_T ≤ 0
- Synchronisationsperiode REQ_PER kleiner als die Dauer Synchronisationsimpuls REQ_T ist
- Synchronisationsperiode REQ_PER größer als eine Stunde
- Synchronisationsperiode REQ_PER kein ganzer Sekundenwert
- Synchronisationsdauer REQ_PER kein Teiler einer Stunde ist

Anlaufverhalten

Im Anlauf werden die Zeiten neu gestartet.

H2. PRE_SUM (FB1061)

Beschreibung von PRE_SUM

FB1061

Aufrufende OBs

Der Weckalarm-OB, in den der Baustein eingebaut wird (z.B. OB32). Zusätzlich im OB100 (siehe Anlaufverhalten).

Aufgerufene Bausteine

Der Baustein ruft folgende Bausteine auf:

SFB35	ALARM_8P
SFC6	RD_SINFO
FC1	AD_DT_TM (IEC-Funktion aus STEP 7 Standard Library)
FC14	GT_DT (IEC-Funktion aus STEP 7 Standard Library)
FC34	SB_DT_DT (IEC-Funktion aus STEP 7 Standard Library)
FC1061	PRE_CALC
FC1062	PRE_FIFO_IO

Funktion

Der Baustein PRE_SUM dient der Energieerfassung und -bearbeitung und bildet die Schnittstelle zur OS.

Messwerterfassung

Er beinhaltet keine Treiberfunktionalität, d.h. er ist unabhängig von den verwendeten Messgeräten.

Es werden unterschiedliche Signalarten unterstützt. Diese wird mit dem Schalter INP_SEL ausgewählt. Die Tabelle zeigt einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten.

INP_SEL	Signalart	Parameter	Parameter Quality Code	Normierungsfaktor / Berechnungskonstanten
0	Zählimpuls	VALUE_P	QC_P	WEIGHT_P
1	ganzzahliger Zählwert	VALUE_D	QC_D	WEIGHT_A
2	analoger Zählwert	VALUE_R	QC_R	WEIGHT_A
3	Mit Kalkulationsfunktion berechneter Energiewert *	ACTUALx (x=1..3)	QC_ACTx (x=1..3)	CALC_Px (x=0..3), CALC_FN *

* siehe Berechnungsalgorithmen, die im Baustein PRE_CALC enthalten sind ([Beschreibung von PRE_CALC](#))

- Bei Signalart 0 wird die verbrauchte Energie (Arbeit) durch das Aufaddieren der gewichteten Impulse realisiert.
Zum Ende der Erfassungsperiode (PER_T) wird aus der verbrauchten Energie (Arbeit) der Leistungswert (CUR_PWR) berechnet.
- Bei Signalart 1 und 2 entspricht die Differenz (normiert) zwischen dem aktuellen und dem letzten Zählwert der verbrauchten Energie (Arbeit).

Zum Ende der Erfassungsperiode (PER_T) wird aus der verbrauchten Energie (Arbeit) der Leistungswert (CUR_PWR) berechnet.

- Bei Signalart 3 gibt die Funktion PRE_CALC einen Leistungswert (CUR_PWR) zurück, der umgerechnet wird auf die Energie (Zeitbasis entspricht der Bearbeitungszykluszeit des Bausteins).
Wenn der Leistungswert < ZERO_CUT, wird der Wert = 0 gesetzt.

Zu Beginn einer Synchronisationsperiode (SYNC_PER, SYNC_P = FALSE → TRUE) wird der aktuelle Zählwert CUR_VAL = 0 gesetzt. Während der Synchronisationsperiode werden zyklisch die ermittelten Energiewerte auf den Parameter CUR_VAL addiert.

Am Ende der Synchronisationsperiode wird aus der verbrauchten Energie (Arbeit) der Leistungsmittelwert AVG_PWR berechnet.

Der aktuelle Energiewert wird hochgerechnet auf die gesamte Synchronisationsperiode (EST_VAL). Daraus wird die erwartete, durchschnittliche Leistung (EST_PWR) für die aktuelle Synchronisationsperiode ermittelt.

Betriebsartenumschaltung für Messwerterfassung

Bei Signalart (INP_SEL) 1 und 2 hat der Operator die Möglichkeit, bei Vorhandensein der entsprechenden Freigaben (AUTOP_EN / MANOP_EN) über den Eingang AUT_ON_OP die Betriebsart für die Messwerterfassung umzuschalten. Die ausgewählte Betriebsart wird am Parameter QMAN_AUT angezeigt.

Betriebsart Automatik

In Betriebsart Automatik (QMAN_AUT = TRUE) wird der Energiewert aus dem entsprechenden Eingang VALUE_P bzw. VALUE_R gebildet.

Betriebsart Hand

In Betriebsart Hand (QMAN_AUT = FALSE) kann über das Faceplate der Energiewert am Parameter V_MAN eingegeben werden.

Der Wert ist dann gültig, wenn V_MAN >= V_MAN_L1 (letzter gültiger Handwert) unter Berücksichtigung des maximalen Zählerwertes MAX_CNT (Zählerüberlauf) und der Zeitstempel des Handwertes (V_MAN_DATE, V_MAN_TIME) > Zeitstempel des letzten gültigen Handwertes (V_MAN_L1T_DATE, V_MAN_L1_TIME) ist.

Aus der Differenz des aktuellen und des letzten Handwertes innerhalb der eingegebenen Zeit (Differenz des aktuellen und letzten Zeitstempels) wird die verbrauchte Gesamt-Energie (CUR_VAL) und die Leistungswerte (AVG_PWR = CUR_PWR) für die Erfassungsperiode berechnet.

Die erwarteten Energie- und Leistungswerte (EST_VAL / EST_PWR) werden für den Erfassungszeitraum mit den aktuellen Werten (CUR_VAL / CUR_PWR) gleich gesetzt.

Archivierung

Für die Archivierung werden die Parameter LAST_VAL (gespeicherter aktueller Energiewert CUR_VAL zum Ende der Synchronisationsperiode SYNC_PER) und AVG_PWR (Leistungsmittelwert zum Ende der Synchronisationsperiode SYNC_PER) verwendet.

In der Betriebsart Hand werden die Parameter CUR_VAL (verbrauchte Energie innerhalb des

angegebenen Zeitbereichs) und AVG_PWR (Leistungsmittelwert im angegebenen Zeitbereich) verwendet.

Die Werte erhalten die eingegebenen Zeitstempel.

Die zu archivierenden Daten werden mit der Funktion PRE_FIFO_IO in den FIFO-Puffer geschrieben. Die Archivierung übernimmt der Baustein PRE_AR_SND.

Die Archivierung der Werte kann einzeln deaktiviert werden, durch Setzen der Parameter ARSNO_S für den Energiewert bzw. ARSNO_V für den Leistungswert auf 0.

Quality Code

Die Parameter QC_P, QC_D, QC_R, QC_ACTx (x=1..3) beinhalten die Quality Codes der Eingangssignale und müssen bei Verwendung der ausgewählten Eingangssignale mit dem Ausgang QUALITY der zugehörigen Treiberbausteine verschaltet werden.

Abhängig von der Signalart werden die entsprechenden Eingänge zur Bildung der ausgangsseitigen Quality Codes QC_LAST_VAL, QC_CUR_VAL, QC_EST_VAL, QC_AVG_PWR, QC_CUR_PWR und QC_EST_PWR verwendet.

Folgende Information des Quality Codes wird ausgewertet:

Quality Code = 16#60: Simulation am Treiberbaustein aktiv (QSIM = TRUE)

Quality Code = 16#80: Gültiger Wert

Quality Code <> 16#60 oder <> 16#80: Wert ist ungültig, externer Fehler (QBAD = TRUE)

Im Fehlerfall wird an den Ausgängen -1 ausgegeben.

Meldeverhalten

PRE_SUM strahlt folgende Meldungen ab:

Melde- baustein	Meldungs- nummer	Baustein- parameter	Meldetext	Melde- klasse
MSG_EVID	1	QPARAMF	Parametrierfehler	AS-Leitt. Störung
	2	QPF_FIFO	Parametrierfehler FIFO	AS-Leitt. Störung
	3	QOVL	FIFO-Pufferüberlauf	AS-Leitt. Störung
	4	QCALCERR	Fehler in Kalkulationsfunktion	AS-Leitt. Störung
	5	QOP_ERR	Ungültiger Handwert	OS-Leitt. Störung
	6	QBAD	Externer Fehler	AS-Leitt. Störung
	7	-	frei	-
	8	-	frei	-

Fehlerverhalten

Der Fehlerausgang QPARAMF wird gesetzt, wenn

- die Erfassungsperiode PER_T <= 0
- die Synchronisationsperiode SYNC_PER <= 0

- Normierungsfaktor WEIGHT_P (wenn INP_SEL = 0) oder WEIGHT_A (wenn INP_SEL = 1 oder 2) ≤ 0.0
- der maximale Zählerwert MAX_CNT ≤ 0.0
- der Zählerwert der angewählten Signalart (VALUE_D / VALUE_R) $> \text{MAX_CNT}$
- die Grenze für Nullpunkt Leistung ZERO_CUT < 0
- Subnummer für die Archivvariable (ARSNO_V / ARSNO_S) $> 16\#0\text{FFF}$

Der Fehlerausgang QPF_FIFO wird gesetzt, wenn die intern aufgerufene Funktion zur Verwaltung des FIFO-Puffers PRE_FIFO_IO meldet, dass

- der parametrisierte FIFO-DB nicht vorhanden ist
- die Länge des FIFO-DB zu kurz ist

Der Fehlerausgang QCALCERR wird gesetzt, wenn die intern aufgerufene Kalkulationsfunktion PRE_CALC einen Fehler in der Berechnung zurückmeldet.

Der Fehlerausgang QOP_ERR wird für 1 Zyklus gesetzt, wenn in der Betriebsart Hand

- ein ungültiger Zeitstempel oder
- Handwert < 0 oder $>$ maximaler Zählwert MAX_CNT eingegeben wird

Anlaufverhalten

Im Anlauf werden die akkumulierten Werte rückgesetzt, die Zeiten neu gestartet und die Meldungen unterdrückt.

H3. PRE_FIFO_DATA (FB1062)

Beschreibung von PRE_AR_DATA

FB1063

Aufrufende OBs

Der Weckalarm-OB, in den der Baustein eingebaut wird (z.B. OB32). Zusätzlich im OB100 (siehe Anlaufverhalten).

Aufgerufene Bausteine

Der Baustein ruft folgende Bausteine auf:

FB1064 PRE_AR_SND

Funktion

Der Funktionsbaustein PRE_AR_DATA beinhaltet die Datenschnittstelle für die zu sendenden Archivdaten und ruft den Baustein PRE_AR_SND auf, der die Archivdaten an WinCC sendet.

Der Speicherbereich für die Telegrammdateien ist im Instanz-DB enthalten.

Die Quelle des Bausteins ist in der Bibliothek enthalten. Dadurch hat der Anwender die Möglichkeit die Länge der Telegrammdateien anzupassen.

Die Anzahl der Elemente innerhalb der Telegrammdateien kann in der Konstante NO_ITEMS geändert werden.

```
END_VAR

//Constants
CONST
  NO_ITEMS := 10;
END_CONST

//Static Variables

VAR
  AR_DATA      : ARRAY [1..NO_ITEMS] OF UDT_PRE_TLG;
  AR_SND       : PRE_AR_SND;
END_VAR
```

Zu beachten ist die Ressourcenbegrenzung bei der Nutzung der S7-Funktionen "AR_SEND" und "BSEND / BRCV" zur Kommunikation mit S7-400. Die maximale Datenmenge, die zu einer Zeit gleichzeitig mit AR_SEND- und / oder BSEND / BRCV-Funktionen vom AS an WinCC gesendet werden kann, ist auf max. 16 kByte begrenzt.

Die Telegrammelemente sind vom Datentyp UDT_PRE_TLG (siehe [UDT_PRE_TLG](#)) und 26 Byte lang.

Meldeverhalten

Das Meldeverhalten ist im aufgerufenen Baustein PRE_AR_SND programmiert. Die Schnittstelle zu den Meldungen stellt der FB PRE_AR_DATA dar.

PRE_AR_DATA strahlt folgende Meldungen ab:

Melde- baustein	Meldungs- nummer	Baustein- parameter	Meldetext	Melde- klasse
MSG_EVID	1	QERR	Kommunikationsfehler	AS-Leitt. Störung
	2	QPARAMF	Parametrierfehler	AS-Leitt. Störung
	3	-	frei	-
	4	-	frei	-
	5	-	frei	-
	6	-	frei	-
	7	-	frei	-
	8	-	frei	-

Fehlerverhalten

Der Baustein hat kein Fehlerverhalten

Anlaufverhalten

Im Anlauf werden die Meldungen unterdrückt.

H4. PRE_AR_DATA (FB1063)

Beschreibung von PRE_FIFO_DATA

FB1062

Aufrufende OBs

Der Weckalarm-OB, in den der Baustein eingebaut wird (z.B. OB32). Zusätzlich im OB100 (siehe Anlaufverhalten).

Aufgerufene Bausteine

Der Baustein ruft folgende Bausteine auf:

SFC6	RD_SINFO
FC1062	PRE_FIFO_IO

Funktion

Der Baustein PRE_FIFO_DATA dient als Puffer für die zu archivierenden Messwerte, die der FB PRE_SUM liefert und durch den FB PRE_AR_SND an WinCC gesendet werden.

Er dient als Platzhalter für den Puffer-Datenbaustein im CFC und wird mit den Bausteinen PRE_SUM und PRE_AR_SND verschaltet. Dadurch wird die Parametrierung der Datenbausteinnummern an PRE_SUM und PRE_AR_SND übernommen.

Die Funktion PRE_FIFO_IO übernimmt die Organisation des Umlaufpuffers.

Die Quelle des Bausteins ist in der Bibliothek enthalten. Dadurch hat der Anwender die Möglichkeit die Länge des Puffers anzupassen.

Die Anzahl der Elemente innerhalb des FIFO-Puffers kann in der Konstante NO_ITEMS geändert werden.

```

b_paramf      : BOOL;
END_VAR

//Constants
CONST
  NO_ITEMS := 1000;
END_CONST

//Static Variables
VAR
  FIFO_CTRL : UDT_PRE_FIFO;
  FIFO_DATA : ARRAY [1..NO_ITEMS] OF UDT_PRE_ITEM;
END_VAR
```

Die Pufferelemente sind vom Datentyp UDT_PRE_ITEM (siehe Kapitel [UDT_PRE_ITEM](#)).

Meldeverhalten

Der Baustein hat kein Meldeverhalten.

Fehlerverhalten

Der Baustein hat kein Fehlerverhalten.

Anlaufverhalten

Der Baustein initialisiert die Funktion PRE_FIFO_IO im Erstanlauf. Bei einem erneuten Anlauf der CPU bleiben die Zeiger erhalten.

H5. PRE_LMGM (FB1065)

Beschreibung von PRE_LMGM

FB1065

Aufrufende Bausteine

Der Weckalarm – OB, in dem Sie den Baustein einbauen (z.B. OB32). Zusätzlich im OB100 (siehe Anlaufverhalten).

Aufgerufene Bausteine

Der Baustein ruft folgende Bausteine auf:

SFB31	NOTIFY_8P
SFB35	ALARM_8P
SFC6	RD_SINFO
SFC20	BLKMOV
SFC21	FILL
SFC51	RDSYSST

Funktion

Unter Lastmanagement versteht man im Zusammenhang mit Energiemanagementsystemen die Überwachung des mit dem EVU vereinbarten Leistungslimits je Zeitintervall. Das Zeitintervall hängt vom Medium ab, bei Strom ist es typischer Weise 15 min, bei Gas 1 Stunde.

Der Baustein PRE_LMGM realisiert die folgenden allgemeinen Funktionen des Lastmanagements:

- Berechnung der Differenzleistung auf Basis des aktuellen Verbrauchs und des vom Baustein PRE_SUM übernommenen Trends zum Periodenende
- Überwachung des Bezugslimits
- Bei einer bevorstehenden Limitüberschreitung Ausgabe einer Warnung / eines Alarms
- Generieren eines Freigabe- / Sperrsignals für jeden Verbraucher, basierend auf der Prioritätenliste unter Berücksichtigung von min. / max. Ausschaltzeiten bzw. min. Einschaltzeiten des Verbrauchers

Allgemeines zur Konfiguration

Für die Ablage der Konfiguration des Lastmanagements werden WinCC Anwenderarchive verwendet. Es ist zu beachten, dass diese lizenziert werden müssen!

Die Konfiguration des Lastmanagements muss im Faceplate erfolgen. Durch das Editieren und Abspeichern der Parameter in den einzelnen Sichten, werden die Daten sowohl in die Steuerung geladen als auch zu Dokumentationszwecken in WinCC Anwenderarchive geschrieben.

Soll sichergestellt werden, dass auf den aktuellen Stand der Prioritätenliste in der Steuerung aufgesetzt wird, kann dies erreicht werden durch ein „Laden aus PLC“ in der Faceplate-Sicht „Edit Priolist“.

Es wird empfohlen vor einem Gesamt-Download der Steuerung das Programm im CFC Rückzulesen, damit die letzte Konfiguration nach dem CPU Neustart wieder aktiv ist.

Ist ein Rücklesen nicht möglich, kann die Prioritätenliste aus dem Faceplate sofort in die Steuerung geladen werden. Die verbleibenden Parameter können aus der Ansicht „Konfiguration“ entnommen werden. Dafür muss zuerst der Filter innerhalb des User Archive Table Controls gelöscht werden, damit alle abgespeicherten Konfigurationen angezeigt werden.

Die zuletzt aktuelle Konfiguration kann anhand der Konfig-ID (falls bekannt) oder dem Zeitstempel Start der Konfiguration und Ende der Konfiguration (ist leer) erkannt werden.

Konfiguration des gesamten Energieverbrauchs / der gesamten Einspeiseleistung

Die Erfassung der gesamten Energie (CUR_VAL) bzw. der gesamten Einspeiseleistung (CUR_PWR) einschließlich der Berechnung der Trends bis zum Periodenende (EST_VAL / EST_PWR) und des Energie- / Leistungsmittelwertes zum Periodenende (LAST_VAL / AVG_PWR) erfolgt durch den Baustein PRE_SUM. Die Bausteinparameter müssen entsprechend verschaltet werden.

Konfiguration der Verbraucher

Der Baustein kann bis zu 100 Verbraucher verwalten. Über den Eingang MAX_LOAD muss die höchste Nummer vorgegeben werden, an dessen Eingang ein Verbraucher verschaltet ist. Für jeden Verbraucher können Einstellungen vorgenommen werden. Im folgenden werden die zugehörigen Parameter beschrieben, wobei x für die Nummer des Verbrauchers steht und x=01-100.

Der Eingang Px beinhaltet die aktuelle Verbraucherleistung. Dieser Eingang wird nur ausgewertet, wenn der Eingang MODEx (siehe unten) den Wert 1 hat.

Am Eingang CAPx wird die Nennleistung vorgegeben. Die Nennleistung dient immer als Berechnungsgrundlage beim Zuschalten. Bei MODEx = 2 oder 3 wird davon ausgegangen, dass der Verbraucher mit Nennleistung läuft, wenn er eingeschaltet ist.

Der Eingang ONx wird mit dem Schaltzustand des Verbrauchers verschaltet (nur MODEx = 2).

Über den Eingang MODEx wird die Verbraucherart eingestellt:

MODEx	Verbraucherart
1	Istleistung des Verbrauchers ist am Eingang Px verschaltet
2	Schaltzustand des Verbrauchers ist am Eingang ONx verschaltet
3	vom Verbraucher ist nur die Nennleistung bekannt

Abhängig von der Verbraucherart wird ein Verbraucher unter folgenden Bedingungen als ausgeschaltet betrachtet:

Verbraucherart	Bedingung für „AUS“
MODEx = 1	$P_x < CAP_x \cdot MAX_STBY / 100.0$ aktuelle Verbraucherleistung ist kleiner als maximale Standbyleistung
MODEx = 2	ONx = FALSE

MODEx = 3 Rückmeldung „Aus“
QONx = FALSE
Keine Freigabe des
Verbrauchers durch das
Lastmanagement

Für jeden Verbraucher wird an den Eingängen MIN_ONx, MIN_OFFx und MAX_OFFx eine minimale Einschaltzeit, eine minimale Ausschaltzeit und eine maximale Ausschaltzeit parametrisiert:

- Minimale Einschaltzeit, d.h. wie lange muss der Verbraucher nach der Freigabe freigegeben bleiben, bis er wieder gesperrt werden darf.
- Min. Ausschaltzeit, d.h. wie lange muss der Verbraucher mindestens abgeworfen sein, bevor er wieder freigegeben werden darf.
- Max. Ausschaltzeit, d.h. wie lange darf der Verbraucher max. abgeworfen sein, bevor er wieder eingeschaltet werden muss (MAX_OFFx = 0 bedeutet, dass es keine max. Ausschaltzeit gibt).

Im Baustein gibt es je Verbraucher Ausgangsvariablen SHED_Tx und EN_Tx vom Datentyp REAL, in denen die Zeit in Sekunden seit dem letzten Ein- bzw. Ausschalten gespeichert ist. Ein Verbraucher kann erst nach Ablauf der min. Einschaltzeit gesperrt und erst nach der min. Ausschaltzeit wieder freigegeben werden. Nach Ablauf der max. Ausschaltzeit wird ein abgeworfener Verbraucher ohne Berücksichtigung der Beruhigungszeit SETTLE_T automatisch ohne Prüfung weiterer Bedingungen freigegeben, es sei denn, er befindet sich im Handbetrieb.

Der Wert des Eingangs MAX_STBY wird für alle Verbraucher zur Ermittlung ihrer maximalen Standby-Leistung verwendet.

Der Lastmanagementbaustein generiert in Abhängigkeit des vorgegebenen Limits und des berechneten Trends ein sog. Sperrsignal bzw. Freigabesignal.

Sperrsignal bedeutet, dass der Verbraucher gemäß den Berechnungen des Lastmanagements abgeschaltet werden soll. Mit dem Sperrsignal kann durch eine entsprechende Verschaltung ein Verbraucher entweder direkt abgeschaltet werden, oder es kann mit weiteren Bedingungen verknüpft werden, um so die Randbedingungen des Prozesses berücksichtigen zu können. Das Gleiche gilt für das Freigabesignal, mit dem ein Verbraucher eingeschaltet werden soll.

Wird im Folgenden von Zu- / Abschalten bzw. von Lastabwurf gesprochen, so wird davon ausgegangen, dass die Freigabe- / Sperrsignale ein direktes Ein- / Ausschalten des Verbrauchers nach sich ziehen, dies muss jedoch nicht immer so gegeben sein.

Die Differenzleistung berechnet sich aus der Differenz zwischen dem vorgegebenen Leistungslimit und der erwarteten durchschnittlichen Leistung am Ende der Periode (EST_PWR). Der Wert für das Leistungslimit berücksichtigt ggf. zu Beginn der Periode noch eine Hysterese. Ein Lastabwurf findet statt, wenn die Differenzleistung kleiner als 0 ist und die Unterdrückungszeit SUPP_T, sowie die Beruhigungszeit SETTLE_T abgelaufen sind. Es werden so viele freigegebene Verbraucher oder Verbrauchergruppen innerhalb der Prioritätenliste, beginnend mit der höchsten Priorität unter Berücksichtigung der minimalen Einschaltzeit abgeworfen, bis die Summe der abgeworfenen Leistung (aktuelle Leistung Px oder Nennleistung CAPx für Verbraucher ohne Leistungsrückmeldung) größer als die Differenzleistung ist. Verbraucher, die als Gruppe einer Priorität zugeordnet sind, werden auch immer gemeinsam abgeworfen. Nach einem Lastabwurf wird die Beruhigungszeit SETTLE_T gewartet, bis ggf. ein erneuter Lastabwurf durchgeführt oder Verbraucher wieder zugeschaltet werden.

Voraussetzung für einen Lastabwurf sind:

Parameter	Bedeutung
EN_SHED = TRUE	Allgemeine Freigabe des Lastabwurfs
EN_SHEDx = TRUE	Verbraucher befindet sich im Lastmanagement, ist also nicht deaktiviert
MANx = FALSE	Verbraucher befindet sich nicht im Handbetrieb
P_DIFF < 0	Negative Differenzleistung
QSUPP_T <= 0	Unterdrückungszeit abgelaufen
QSETTLE_T <= 0	Beruhigungszeit abgelaufen
QMIN_ONx = FALSE	Minimale Einschaltzeit des Verbrauchers ist abgelaufen

Für abgeworfene Verbraucher wird der Ausgang QONx auf FALSE gesetzt.

Verbraucher mit Statusrückmeldung

Hat der Verbraucher x keine eigene Leistungsrückmeldung, sondern nur eine Statusrückmeldung ONx, wird bei ONx = TRUE davon ausgegangen, dass der Verbraucher seine Nennleistung CAPx verbraucht und bei ONx = FALSE keine Leistung verbraucht. Auch ein ausgeschalteter Verbraucher (ONx = FALSE) wird abgeworfen, wenn er laut Prioritätenliste an der Reihe ist. Es wird aber keine Leistung zum Erreichen der Differenzleistung addiert.

Freigabe von abgeworfenen Verbrauchern

Wenn es abgeworfene Verbraucher gibt und nach Ablauf der Beruhigungszeit SETTLE_T die Differenzleistung P_DIFF größer als 0 ist, werden Verbraucher wieder freigegeben. Es werden so viele abgeworfene Verbraucher oder Verbrauchergruppen beginnend mit der niedrigsten Priorität unter Berücksichtigung der minimalen Ausschaltzeit freigegeben bis die Summe der freigegebenen Leistung (Nennleistung CAPx) größer als die Differenzleistung ist. Verbraucher mit der gleichen Priorität bilden eine Gruppe und werden aus diesem Grund immer gemeinsam freigegeben, wenn die Differenzleistung dies zulässt. Eine Freigabe von einzelnen Verbrauchern einer Gruppe ist nicht möglich. Nach einer Freigabe wird die Beruhigungszeit SETTLE_T gewartet, bis ggf. ein erneuter Lastabwurf/eine weitere Freigabe durchgeführt wird.

Wenn ein Verbraucher mit niedrigerer Priorität nicht freigegeben werden kann, weil seine Nennleistung größer ist als die zur Verfügung stehende Differenzleistung, wird auch kein Verbraucher mit höherer Priorität freigegeben.

Wenn die Beruhigungszeit und die maximale Ausschaltzeit (MAX_OFFx) des abgeschalteten Verbrauchers x abgelaufen sind, wird der Verbraucher bedingungslos freigegeben.

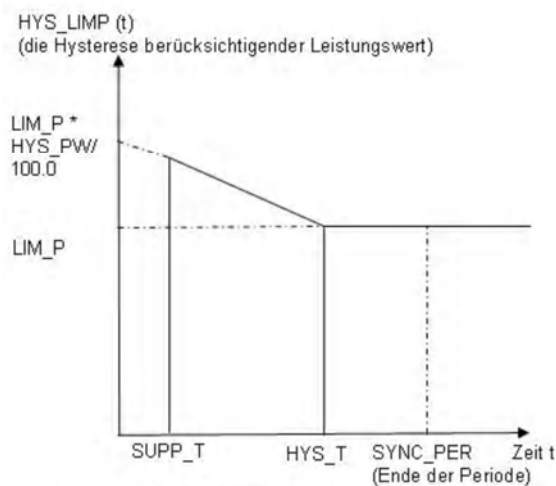
Für freigegebene Verbraucher wird der Ausgang QONx auf TRUE gesetzt.

Verbrauchersteuerung

Hysterese

Zur Vermeidung von zu häufigen Schalthandlungen, vor allem zu Beginn der Periode kann gemäß unten aufgeführtem Algorithmus eine Hysterese projiziert werden, mit dem Ziel, den Grenzwert bei dem ein Lastabwurf ausgelöst wird (HYS_LIMP), entsprechend zu erhöhen.

Der Baustein überprüft, ob der eingegebene Wert für das Ende der Hysterese (HYS_T) größer als Null und kleiner als die Periodenzeit (SYNC_PER) ist. Wenn dies nicht der Fall ist, wird bei einer Änderung HYS_T auf den Wert zurückgesetzt, den es vorher hatte. Wenn sich die Periodenzeit (SYNC_PER) auf einen Wert kleiner als HYS_T ändert, wird HYS_T auf die neue Periodenzeit gesetzt.



Berechnung von HYS_LIMP(t)

$t < \text{HYS_T}$:

$$\text{HYS_LIMP}(t) = \frac{(\text{LIM_P} * \text{HYS_PW}/100.0 - \text{LIM_P})}{\text{HYS_T}} * t + \text{LIM_P} * \text{HYS_PW}/100.0$$

$t \geq \text{HYS_T}$:

$$\text{HYS_LIMP}(t) = \text{LIM_P}$$

Beschreibung der Parameter:

LIM_P Leistungsgrenzwert

HYS_LIMP Aktueller, die Hysterese berücksichtigender Leistungsgrenzwert

HYS_PW Startwert der Hysterese in % vom Leistungs- oder Arbeitsmaximum zu Beginn einer Periode

HYS_T Zeit nach Beginn der Periode, ab der keine Hysterese mehr berücksichtigt werden soll

t Zeit seit dem Beginn der aktuellen Periode

Verzögerungszeit (Unterdrückungszeit)

Eine weitere Möglichkeit, zu Beginn der Periode unnötige Schalthandlungen zu vermeiden, ist die

Projektierung einer Verzögerungszeit (Unterdrückungszeit) SUPP_T, in der kein Lastabwurf stattfindet und die Warn- bzw. Alarmlmeldungen „bevorstehende Limitüberschreitung“ nicht abgesetzt werden.

Ruhezeit

Um der Trägheit von Verbrauchern nach einem Schaltvorgang gerecht zu werden, kann eine Ruhezeit projektiert werden.

Nach dem Lastabwurf oder der Freigabe von Verbrauchern aufgrund der Differenzleistung wartet der Baustein die Beruhigungszeit SETTLE_T ab, bevor ein weiterer Lastabwurf oder eine weitere Freigabe erfolgt. (SETTLE_T = 0 bedeutet, dass keine Beruhigungszeit berücksichtigt wird)

Wird ein Verbraucher wegen der abgelaufenen maximalen Ausschaltzeit zugeschaltet, wird die Beruhigungszeit nicht abgewartet, bis ein weiterer Verbraucher geschaltet wird.

Prioritätenliste

Zuordnung einer Priorität

Für jeden Verbraucher gibt es einen Eingang PRIOr, an dem die Priorität des Verbrauchers als Zahl (1..255) parametrisiert wird. 1 bedeutet höchste Priorität, 0 bedeutet, dass der Verbraucher nicht am Lastmanagement teilnimmt oder kein Verbraucher vorhanden ist. Die Abschaltung erfolgt von der höchsten zur niedrigeren Priorität, d.h. der Verbraucher mit der Priorität 1 wird zuerst abgeschaltet.

Eine Prioritätengruppe wird von Verbrauchern gleicher Priorität gebildet.

Die Verbraucher in der Prioritätenliste müssen durch Ändern der Verschaltungen im CFC-Plan gelöscht und neu eingefügt werden. Die Zuordnung des Verbrauchers zu einer Prioritätengruppe und/oder einer rollierenden Gruppe wird in der Faceplatesicht „Edit Prioliste“ in WinCC vorgenommen und mit „Speichern“ in die Steuerung geladen.

Hinweis:

Wenn Prioritäten (PRIOr) oder Zuordnungen zu rollierenden Gruppen (ROLLx) im CFC-Plan geändert wurden, muss zwingend im Faceplate eine Neuberechnung angestoßen werden. Dafür muss in der Faceplatesicht „Edit Prioliste“ der Befehl „Laden aus PLC“ ausgeführt werden, damit die geänderten Werte vom Baustein in WinCC übernommen werden.

Rollierende Verbraucher

Für jeden Verbraucher gibt es einen Eingang mit dem Namen ROLLx, an dem festgelegt wird, ob es sich um einen rollierenden Verbraucher innerhalb der Prioritätengruppe handelt (ROLLx > 0) oder nicht (ROLLx = 0). Verbraucher, die rollierend geschaltet werden besitzen alle die gleiche Priorität. Über den Parameter ROLLx wird festgelegt, in welcher Reihenfolge diese abgeschaltet werden.

Mit diesem Vorgehen wird erreicht, dass nicht immer der gleiche Verbraucher einer Priorität abgeschaltet wird, sondern wechselweise immer ein anderer.

Um Verbraucher gemeinsam zu schalten, können auch Gruppen gebildet werden. Verbraucher mit gleicher Priorität und gleicher ROLLx bilden eine Gruppe von Verbrauchern, die gemeinsam geschaltet werden. Es können mehrere Verbrauchergruppen innerhalb einer Priorität vorhanden sein.

Wenn eine Gruppe von Verbrauchern mit gleicher Priorität (=Prioritätengruppe) abgeworfen wird, werden alle nicht rollierenden Verbraucher abgeworfen und zusätzlich die rollierenden beginnend mit der ersten ROLLx-Nummer.

Verhalten bei Verbrauchergruppen innerhalb der rollierenden Verbraucher:

Wenn mehrere Verbraucher dieselbe ROLLx-Nummer haben, können diese erst abgeworfen werden, wenn sich mindestens ein Verbraucher im Lastmanagement und nicht im Handbetrieb befindet und seine min. Einschaltzeit abgelaufen ist. Ist dies nicht der Fall, wird versucht, die nächste Gruppe rollierender Verbraucher abzuwerfen.

Läuft für einen Verbraucher innerhalb einer Gruppe rollierender Verbraucher die maximale Ausschaltzeit ab, wird dieser Verbraucher (ohne Berücksichtigung der Beruhigungszeit) wieder zugeschaltet. Die nächste Gruppe rollierender Verbraucher wird erst abgeschaltet, wenn dies aufgrund der Differenzleistung erforderlich ist.

Das Zuschalten von rollierenden Verbrauchergruppen bei positiver Differenzleistung erfolgt immer nur gemeinsam, d. h. es wird kein Verbraucher einzeln zugeschaltet, wenn die Differenzleistung nur hierfür ausreicht.

Wenn innerhalb einer Prioritätengruppe die nächste Gruppe rollierender Verbraucher nicht abgeschaltet werden kann, weil mindestens ein Verbraucher der momentan abgeschalteten Gruppe noch nicht wieder zugeschaltet wurde, werden ggf. Verbraucher der nächsten Priorität abgeschaltet, um einen Deadlock zu verhindern. Unabhängig davon wird die nächste Gruppe rollierender Verbraucher zugeschaltet, sobald alle Verbraucher der aktuellen Gruppe wieder zugeschaltet sind.

Tarife

Der Baustein besitzt drei Tarife (Hochtarif, Niedrigtarif und Sonn- oder Feiertagstarif). Je Tarif kann entweder ein Arbeitsgrenzwert oder ein Leistungsgrenzwert vorgegeben werden.

- LIM_W_H: Arbeitsgrenzwert für Hochtarif
- LIM_W_L: Arbeitsgrenzwert für Niedrigtarif
- LIM_W_SH: Arbeitsgrenzwert für Sonn- oder Feiertag

- LIM_P_H: Leistungsgrenzwert für Hochtarif
- LIM_P_L: Leistungsgrenzwert für Niedrigtarif
- LIM_P_SH: Leistungsgrenzwert für Sonn- oder Feiertag

Bei SEL_PW = TRUE müssen die Grenzwerte im Faceplate als Leistungswerte vorgegeben werden, bei SEL_PW = FALSE als Arbeitsgrenzwerte.

Der Baustein erhält die aktuelle UTC-Zeit der CPU über seinen Eingang CUR_TS vom Baustein PRE_SYNC, die intern auf die lokale Uhrzeit umgerechnet wird. Anhand der Eingänge BEG_HT (Startzeit für Hochtarif) und BEG_LT (Startzeit für Niedrigtarif) entscheidet der Baustein, ob der Grenzwert für den Hoch- oder Niedrigtarif anzuwenden ist.

- Bei BEG_HT < BEG_LT gilt der Hochtarif für BEG_HT <= Zeit <= BEG_LT, sonst Niedrigtarif
- Bei BEG_LT < BEG_HT gilt der Niedrigtarif für BEG_LT <= Zeit <= BEG_HT, sonst Hochtarif
- Bei Gleichheit beider Zeiten wird der Niedrigtarif angewendet.

Durch Setzen des Eingangs SH_ACT (Sonn- oder Feiertag aktiv) wird bewirkt, dass für den nächsten Tag (beginnend um 00:00) der Sonn- oder Feiertagstarif angewendet wird. Durch den Eingang SH_NUM wird eingestellt, wieviele Tage hintereinander der Sonn- / Feiertagstarif gilt bevor wieder auf den Hoch-bzw. Niedertarif umgeschaltet wird.

Der jeweils aktuelle Energie – und Leistungsgrenzwert wird an den Ausgängen LIM_W und LIM_P ausgegeben.

Quality Code

Die Eingangsparameter CUR_PWR, CUR_VAL, EST_VAL werden über ihre Quality Codes QC_CUR_PWR, QC_CUR_VAL und QC_EST_VAL auf Gültigkeit überwacht. Gleiches gilt für die aktuelle Leistung der einzelnen Verbraucher (Px) bzw. deren Schaltrückmeldung (ONx), deren Quality Codes an den Eingängen QC_Px bzw. QC_ONx verschaltet werden.

Der Quality Code der Verbraucherleistung / Statusrückmeldung hat keinen Einfluss auf die Auswahl der abzuwerfenden Verbraucher. Bei schlechtem Quality Code erfolgt allerdings keine Leistungsgutschrift zum Erreichen der Differenzleistung.

Folgende Information des Quality Codes wird ausgewertet:

Quality Code = 16#80: Gültiger Wert

Quality Code <> 16#80: Wert ist ungültig, externer Fehler oder Simulation

Verbraucher und Lastmanagement auf unterschiedlichen PLCs

Wenn Verbraucher und Lastmanagement auf unterschiedlichen PLCs laufen, müssen die aktuelle Verbraucherleistung (Px, QC_Px) bzw. der aktuelle Schaltzustand (ONx, QC_ONx) zur der Steuerung übertragen werden, auf der Baustein PRE_LMGM läuft und die Information über Freigabe / Abwurf (Ausgang QONx) zu der Steuerung, auf der der Verbraucher läuft.

Für die Kommunikation können die mitgelieferten Bausteine PRE_AS_SEND / PRE_AS_RECV (Sende- / Empfangsbaustein für AS-AS-Kommunikation) und PRE_SND_H / PRE_RCV_H (Sende- / Empfangsbaustein für AS-4xxH <> AS-400 Kommunikation) verwendet werden.

Meldeverhalten

PRE_LMGM strahlt folgende Meldungen ab:

Melde- baustein	Meldungs- nummer	Baustein- parameter	Meldetext	Melde- klasse
MSG_EVID1	1	QLIM_WRN	Warnung bevorstehende Limitüberschreitung @1%.2f@ kWh/@3%.2f@ kW (Grenzwert @2%.2f@ kWh/@4%.2f@ kW)	WH
	2	QLIM_ALM	Alarm bevorstehende Limitüberschreitung @1%.2f@ kWh/@3%.2f@ kW (Grenzwert @2%.2f@ kWh/@4%.2f@ kW)	AH
	3	QLIM_ERR	Grenzwertüberschreitung: @5%.2f@ kWh/@6%.2f@ kW (Grenzwert @2%.2f@ kWh/@4%.2f@ kW)	AH
	4	QSHED_ IMP	Keine Verbraucher abwerfbar	AH
	5	QLMGM_OFF	Lastmanagement ausgeschaltet	AH
	6	QELD_PARA	Fehler beim Laden von Parametern	AH
	7	QLIM_E	Ungültiges Limit	AH
	8	QP_ERR	Ungültige Einspeiseleistung	AH

MSG_EVID2	1	-	reserviert	-
	2	-	reserviert	-
	3	-	reserviert	-
	4	-	reserviert	-
	5	QPRIO_LST_E	Ungültige Prioritätenliste	AH
	6	-	frei	-
	7	-	frei	-
	8	-	frei	-
MSG_EVID3	1	QSHED	Verbraucher @1%s@ wurde gesperrt	Status AS
	2	QFREE	Verbraucher @2%s@ wurde freigegeben	Status AS
	3	-	frei	-
	4	-	frei	-
	5	-	frei	-
	6	-	frei	-
	7	-	frei	-
	8	-	frei	-

Die Begleitwerte des ALARM_8P sind wie folgt belegt:

Meldebaustein	Begleitwert	Parameter	Bedeutung
MSG_EVID1	1	EST_VAL	Voraussichtlicher Energiewert zum Ende der Synchronisationsperi
MSG_EVID2	2	HYS_LIMW	Aktueller, die Hysterese berücksichtigender durchschnittlicher Arbeitsgrenzwert
	3	EST_PWR	Durchschnittlicher Leistungswert zum Ende der Synchronisationsperiode
	4	HYS_LIMP	Aktueller, die Hysterese berücksichtigender durchschnittlicher Leistungsgrenzwert
	5	LAST_VAL	Letzter archivierter, akkumulierter Energiewert
	6	AVG_PWR	Durchschnittliche Leistung der letzten Periode
	7	-	frei
	8	-	frei
	9	-	frei
	10	-	frei

Die Begleitwerte des NOTIFY_8P sind wie folgt belegt:

Meldebaustein	Begleitwert	Parameter	Bedeutung
MSG_EVID3	1	NAMEx	Name des Verbrauchers, der gesperrt wurde
	2	NAMEx	Name des Verbrauchers, der freigegeben wurde
	3	-	frei
	4	-	frei
	5	-	frei
	6	-	frei

7	-	frei
8	-	frei
9	-	frei
10	-	frei

Fehlerverhalten

Gültigkeit von Eingangsparametern

Wenn ein ungültiger Wert der Eingangsparameter CUR_PWR, CUR_VAL, EST_VAL anhand der zugehörigen Quality Codes erkannt wird, wird eine Meldung „Ungültige Einspeiseleistung“ abgesetzt und das Lastmanagement abgeschaltet.

Ein ungültiger Wert für die Rückmeldung eines Verbrauchers führt dazu, dass im Falle eines Abwurfs des Verbrauchers keine Leistung zum Ausgleich der Differenzleistung für diesen Verbraucher berücksichtigt wird.

Abschalten des Lastmanagements

Verhalten des Baustein PRE_LMGM im Fehlerfall, d.h. wenn das Lastmanagement abgeschaltet werden muss:

- Die Verbrauchersteuerung bleibt in dem aktuellen Zustand bis zum Ende der Periode, d. h. es wird nicht weiter zu- bzw. abgeschaltet. Ein manuelles Freigeben / Sperren durch den Anwender bleibt weiterhin möglich.
- Ist der Fehler nach dem Ende der Periode noch vorhanden, werden alle Verbraucher unter Berücksichtigung ihrer Sperrzeiten freigegeben.
- Ist eine Trendberechnung möglich, wird diese auch weiterhin durchgeführt und angezeigt. Es werden jedoch keine Alarme / Warnungen bzgl. Überschreitungen ausgegeben.

Anlaufverhalten

Nach einem Neustart der CPU stellt der Baustein PRE_SUM an seinem Ausgang CUR_VAL erst nach dem ersten Synchronisationsimpuls eine gültige Einspeiseleistung zur Verfügung. Bis dahin findet kein Lastmanagement statt.

Im Einzelnen gilt nach dem Neustart bis zum ersten Synchronisationsimpuls:

- Alle Verbraucher sind freigegeben (QONx = TRUE).
- Die Zeit seit Freigabe der Verbraucher (EN_Tx) beginnt bei 0. Diese Zeit ist die Basis für die minimale Einschaltzeit.
- Die Ausgänge für Grenzwerte, die die Hysterese berücksichtigen, (HYS_LIMW und HYS_LIMP) berücksichtigen keine Hysterese.
- Alle Meldungen sind im Zustand gegangen.
- Die Restzeit in der laufenden Periode (BAL_TM und BAL_TS) wird auf 0 gesetzt.
- Differenzarbeit und -leistung werden auf 0 gesetzt.
- Die verfügbare Zuschalt- und Abschaltleistung (P_ON und P_SHED) und die Anzahl der ab- und zuschaltbaren Verbraucher (EN_POS und SHED_POS) werden bereits ermittelt. Die Anzahl der abgeworfenen Verbraucher (LOAD_SHED) ist 0.
- Die verfügbare Zuschalt- und Abschaltarbeit (W_ON und W_SHED) werden auf 0 gesetzt, da die Restzeit der Periode nicht bekannt ist.
- Die durchschnittliche Leistung / Arbeit der letzten Periode (LT_P und LT_W) wird auf 0 gesetzt.
- Marker für letzten rollierende Verbraucher (LAST_ROLLx) werden auf 0 gesetzt.

- Das Editieren und Laden einer Konfiguration aus dem Faceplate wird ggf. abgebrochen (CFG_EDIT = FALSE und CFG_LOAD = FALSE).
- Verbleibende Unterdrückungszeit nach Periodenstart und Beruhigungszeit nach Lastabwurf (QSUPP_T und QSETTLE_T) werden auf 0 gesetzt.

Anlage I - Beschreibung des Bausteins TIMPER_P

Dieser Anhang beinhaltet den Original-Text der Online-Hilfe zum verwendeten Baustein TIMPER_P.

TIMER_P

Funktion

Der Baustein startet den Timer in der Betriebsart, die durch den Wert am Eingang MODE vorgegeben ist:

- Impulsbildner
- verlängerter Impuls
- Einschaltverzögerung
- speichernde Einschaltverzögerung
- Ausschaltverzögerung

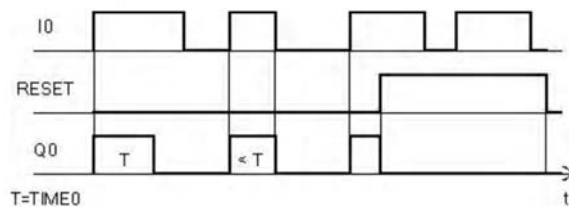
Betriebsarten

MODE	Betriebsart
0	Timer als Impuls starten
1	Timer als verlängerter Impuls starten
2	Timer einschaltverzögernd starten
3	Timer speichernd einschaltverzögernd starten
4	Timer ausschaltverzögernd starten

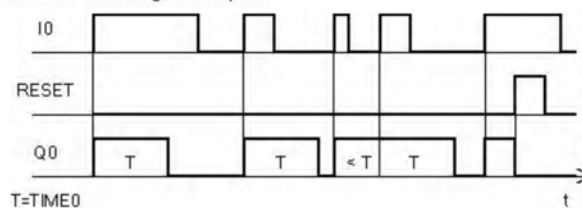
Der Baustein übernimmt die Betriebsart (MODE) nur bei einer positiven Flanke des Eingangs I0. Der Zeitzähler PTIME wird mit dem Wert TIME0 geladen und zyklisch um die Abtastzeit SAMPLE_T erniedrigt. Bei abgelaufener Zeit wird der Ausgang Q0 entsprechend der Betriebsart verändert. Über RESET = 1 werden die Ausgänge Q0 = 0 und PTIME = 0 ausgegeben.

Impulsdiagramme

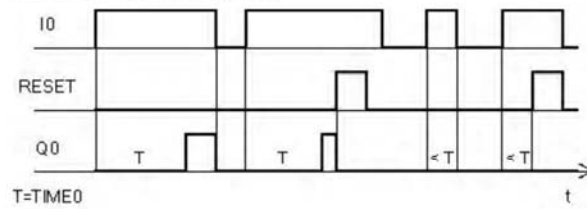
MODE=0 Impuls



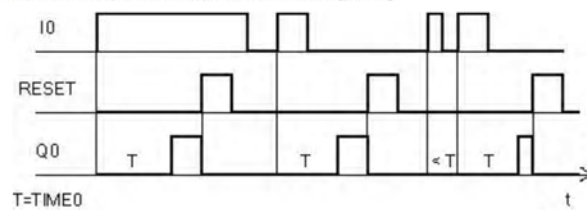
MODE=1 Verlängerter Impuls



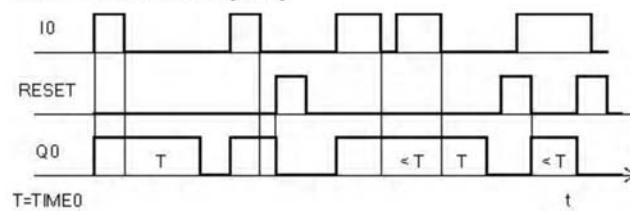
MODE=2 Einschaltverzögerung



MODE=3 Speichernde Einschaltverzögerung



MODE=4 Ausschaltverzögerung



Hinweis

Beachten Sie, dass die Abtastzeit kleiner sein muss als die Schaltzeit.

Anschlüsse

	Name	Datentyp	Erklärung	Voreinstellung
Eingänge	SAMPLE_T	REAL	Task-Abtastzeit in s	1.0
	TIME0	REAL	Zeit in s	0.0
	MODE	INT	Betriebsart (s. oben)	0
	RESET	BOOL	Rücksetzen	0
	I0	BOOL	Eingangsimpuls	0
Ausgänge	QERR	BOOL	Fehler	1
	Q0	BOOL	Ausgangsimpuls	0
	PTIME	REAL	Verbleibende Zeit	0.0

Anlage J - Hardware-Konfiguration der SPS Simatic S7

SIMATIC 2013_Master_ET_STD_Prj/SIMATIC S7-400 26.07.2013 13:39:46

SIMATIC S7-400

UR1 - Baugruppenträger (0)

Kurzbezeichnung: UR1
Bestell-Nr: 6ES7 400-1TA01-0AA0
Bezeichnung: UR1

Baugruppenträger (0), Steckplatz 1

Kurzbezeichnung: PS 407 10A
Bestell-Nr: 6ES7 407-0KA00-0AA0
Bezeichnung: PS 407 10A
Breite: 2
Kommentar:
- - -

Baugruppenträger (0), Steckplatz 3

Kurzbezeichnung: CPU 412-3 H
Firmware-Version: V4.5
Bestell-Nr: 6ES7 412-3HJ14-0AB0
Bezeichnung: CPU 412-3 H
Breite: 1
Kommentar:
- - -

notwendiges HW-Update: CPU 41X-? H V4.5

Baugruppenträger (0), Steckplatz 3, Schnittstelle X1

Kurzbezeichnung: MPI/DP
Bestell-Nr: - - -
Bezeichnung: MPI/DP
Breite: 1
PROFIBUS-Adresse: 1
Höchste PROFIBUS-Adresse: 126
Baudrate: 1.5 MBit/s
Kommentar:
- - -
Adressen
Eingänge
Anfang: 8190
Ende: 8190

Synchronisationsart: Keine
Zeitintervall: Kein

notwendiges HW-Update: CPU 41X-? H V4.5

Baugruppenträger (0), Steckplatz 5

Kurzbezeichnung: DI32xDC 24V
Bestell-Nr: 6ES7 421-1BL00-0AA0
Bezeichnung: DI32xDC 24V
Digital-Kanäle: 32 Eingänge
Breite: 1
Kommentar:
- - -
Adressen
Eingänge
Anfang: 0
Ende: 3

zugeordnete CPU: CPU-Nummer 1 - Steckplatz 3

Baugruppenträger (0), Steckplatz 6

Kurzbezeichnung: DO32xDC24V/0.5A
Bestell-Nr: 6ES7 422-1BL00-0AA0
Bezeichnung: DO32xDC24V/0.5A
Digital-Kanäle: 32 Ausgänge
Breite: 1
Kommentar:
- - -
Adressen

Anlagen

SIMATIC 2013_Master_ET_STD_Prj/SIMATIC S7-400 26.07.2013 13:39:46

Ausgänge
Anfang: 0
Ende: 3

zugeordnete CPU: CPU-Nummer 1 - Steckplatz 3

Baugruppenträger (0), Steckplatz 7

Kurzbezeichnung: AI8x13Bit
Bestell-Nr: 6ES7 431-1KF00-0AB0
Bezeichnung: AI8x13Bit
Analog-Kanäle: 8 Eingänge
Breite: 1
Kommentar:

- - -

Adressen

Eingänge
Anfang: 512
Ende: 527

zugeordnete CPU: CPU-Nummer 1 - Steckplatz 3

Baugruppenträger (0), Steckplatz 8

Kurzbezeichnung: AO8x13Bit
Bestell-Nr: 6ES7 432-1HF00-0AB0
Bezeichnung: AO8x13Bit
Analog-Kanäle: 8 Ausgänge
Breite: 1
Kommentar:

- - -

Adressen

Ausgänge
Anfang: 512
Ende: 527

zugeordnete CPU: CPU-Nummer 1 - Steckplatz 3

Baugruppenträger (0), Steckplatz 9

Kurzbezeichnung: CP 443-1 IT
Bestell-Nr: 6GK7 443-1GX00-0XE0
Bezeichnung: CP 443-1 IT

zugeordnete CPU: CPU-Nummer 1 - Steckplatz 3

Ort

Station: SIMATIC S7-400
Breite: 1

Netz

Netztyp: Ind. Ethernet
Netzname: IE_2013_Master_ET_HH
IP-Adresse: 192.169.0.2
Subnetzmaske: 255.255.255.0
Router-Adresse: - - -
MAC-Adresse: 08-00-06-01-00-00

Adressen

Eingänge
Anfang: 8191
Ende: 0
Systemvorgabe: - - -
Ausgänge
Anfang: - - -
Ende: - - -
Systemvorgabe: - - -

Kommentar:

- - -

DP-Mastersystem :

Zugeordneter Master:

Kurzbezeichnung MPI/DP

Seite 2 von 6

Anlagen

SIMATIC 2013_Master_ET_STD_Prg/SIMATIC S7-400 26.07.2013 13:39:46

Bestell-Nr	
Bezeichnung	MPI/DP
Ort	
Station	SIMATIC S7-400
Baugruppenträger	0
Steckplatz	3
Schnittstellenmodul-Schacht	2
PROFIBUS-Adresse	1

Gruppe : 1
Kommentar:
Die Gruppe unterstützt Sync.
Die Gruppe unterstützt Freeze.

Gruppe : 2
Kommentar:
Die Gruppe unterstützt Sync.
Die Gruppe unterstützt Freeze.

Gruppe : 3
Kommentar:
Die Gruppe unterstützt Sync.
Die Gruppe unterstützt Freeze.

Gruppe : 4
Kommentar:
Die Gruppe unterstützt Sync.
Die Gruppe unterstützt Freeze.

Gruppe : 5
Kommentar:
Die Gruppe unterstützt Sync.
Die Gruppe unterstützt Freeze.

Gruppe : 6
Kommentar:
Die Gruppe unterstützt Sync.
Die Gruppe unterstützt Freeze.

Gruppe : 7
Kommentar:
Die Gruppe unterstützt Sync.
Die Gruppe unterstützt Freeze.

Gruppe : 8
Kommentar:
Die Gruppe unterstützt Sync.
Die Gruppe unterstützt Freeze.

Slave : PAC3200 PROFIBUS-Adresse : 5
zugeordnet zu den Gruppen :
Slave : IM151-1 Basic PROFIBUS-Adresse : 4
zugeordnet zu den Gruppen :
Slave : IM151-1 Basic PROFIBUS-Adresse : 19
zugeordnet zu den Gruppen :
Slave : PAC3200 PROFIBUS-Adresse : 6
zugeordnet zu den Gruppen :
Slave : IM151-1 Basic PROFIBUS-Adresse : 73
zugeordnet zu den Gruppen :

Seite 3 von 6

Slave : PAC3200 PROFIBUS-Adresse : 7
zugeordnet zu den Gruppen :

Slave (4) IM151-1 Basic

Bestellnummer:	6ES7 151-1CA00-0AB0
Familie:	ET200S
DP-Slave-Typ:	ET200S
Kommentar:	
PROFIBUS-Adresse :	4
Diagnoseadresse:	8189
SYNC-Fähigkeit:	Ja
FREEZE-Fähigkeit:	Ja
Ansprechüberwachung:	eingeschaltet
Der Slave ist verbunden mit ...	
DP_2013_Master_ET_HH:	Ja
DP-Mastersystem (I):	

Slave (4), Steckplatz 1

Bestell-Nr	3RK1 903-0BA00
Kurzbezeichnung	PM-D DC24V
Bezeichnung	PM-D DC24V

Slave (4), Steckplatz 2

Bestell-Nr	3RK1 301-xxB00-0AA2
Kurzbezeichnung	DS1-x
Bezeichnung	DS1-x
E-Adresse	4.0...4.3
A-Adresse	4.0...4.3

Slave (5) PAC3200

Bestellnummer:	
Familie:	Allgemein
DP-Slave-Typ:	PAC3200
Hersteller:	SIEMENS
GSD-Dateiname:	SI018163.GSG
GSD-Revision:	5
Identifikationsnummer:	0x8163
Revision des DP-Slaves:	V2.2
Hardware-Ausgabestand:	V1.0
Software-Ausgabestand:	V2.0
Kommentar:	
PROFIBUS-Adresse :	5
Diagnoseadresse:	8186
SYNC-Fähigkeit:	Nein
FREEZE-Fähigkeit:	Nein
Ansprechüberwachung:	eingeschaltet
Parametrierung in aufsteigender Bytefolge (Angabe hexadezimal) :	
84,00,00,00,00	

DP-Kennung: 193

Eingangsadresse:	528
Ausgangsadresse:	528
Anwenderspezifischer Kommentar:	84
Letzten Wert halten:	Nein

DP-Kennung: 66

Eingangsadresse:	588
Anwenderspezifischer Kommentar:	00,85
Letzten Wert halten:	Nein

Slave (6) PAC3200

Bestellnummer:	
Familie:	Allgemein
DP-Slave-Typ:	PAC3200
Hersteller:	SIEMENS
GSD-Dateiname:	SI018163.GSG
GSD-Revision:	5
Identifikationsnummer:	0x8163
Revision des DP-Slaves:	V2.2

Anlagen

SIMATIC 2013_Master_ET_STD_Prj/SIMATIC S7-400 26.07.2013 13:39:46

Hardware-Ausgabestand: V1.0
Software-Ausgabestand: V2.0
Kommentar:
PROFIBUS-Adresse : 6
Diagnoseadresse: 8185
SYNC-Fähigkeit: Nein
FREEZE-Fähigkeit: Nein
Ansprechüberwachung: eingeschaltet
Parametrierung in aufsteigender Bytefolge (Angabe hexadezimal) :
84,00,00,00,00

DP-Kennung: 193
Eingangsadresse: 548
Ausgangsadresse: 530
Anwenderspezifischer Kommentar: 84
Letzten Wert halten: Nein

DP-Kennung: 66
Eingangsadresse: 612
Anwenderspezifischer Kommentar: 00,85
Letzten Wert halten: Nein

Slave (7) PAC3200

Bestellnummer:
Familie: Allgemein
DP-Slave-Typ: PAC3200
Hersteller: SIEMENS
GSD-Dateiname: SI018163.GSG
GSD-Revision: 5
Identifikationsnummer: 0x8163
Revision des DP-Slaves: V2.2
Hardware-Ausgabestand: V1.0
Software-Ausgabestand: V2.0
Kommentar:
PROFIBUS-Adresse : 7
Diagnoseadresse: 8184
SYNC-Fähigkeit: Nein
FREEZE-Fähigkeit: Nein
Ansprechüberwachung: eingeschaltet
Parametrierung in aufsteigender Bytefolge (Angabe hexadezimal) :
84,00,00,00,00

DP-Kennung: 193
Eingangsadresse: 568
Ausgangsadresse: 532
Anwenderspezifischer Kommentar: 84
Letzten Wert halten: Nein

DP-Kennung: 66
Eingangsadresse: 636
Anwenderspezifischer Kommentar: 00,85
Letzten Wert halten: Nein

Slave (19) IM151-1 Basic

Bestellnummer: 6ES7 151-1CA00-0AB0
Familie: ET200S
DP-Slave-Typ: ET200S
Kommentar:
PROFIBUS-Adresse : 19
Diagnoseadresse: 8188
SYNC-Fähigkeit: Ja
FREEZE-Fähigkeit: Ja
Ansprechüberwachung: eingeschaltet

Der Slave ist verbunden mit ...
DP_2013_Master_ET_HH: Ja
DP-Mastersystem (I):

Slave (19), Steckplatz 1

Bestell-Nr 3RK1 903-0BA00
Kurzbezeichnung PM-D DC24V
Bezeichnung PM-D DC24V

Anlagen

SIMATIC

2013_Master_ET_STD_Prg/SIMATIC S7-400

26.07.2013 13:39:46

Slave (19), Steckplatz 2

Bestell-Nr	3RK1 301-xxB00-0AA2
Kurzbezeichnung	DS1-x
Bezeichnung	DS1-x
E-Adresse	5.0...5.3
A-Adresse	5.0...5.3

Slave (73)

IM151-1 Basic

Bestellnummer:	6ES7 151-1CA00-0AB0
Familie:	ET200S
DP-Slave-Typ:	ET200S
Kommentar:	
PROFIBUS-Adresse :	73
Diagnoseadresse:	8187
SYNC-Fähigkeit:	Ja
FREEZE-Fähigkeit:	Ja
Ansprechüberwachung:	eingeschaltet

Der Slave ist verbunden mit ...

DP_2013_Master_ET_HH:	Ja
DP-Mastersystem (I):	

Slave (73), Steckplatz 1

Bestell-Nr	3RK1 903-0BA00
Kurzbezeichnung	PM-D DC24V
Bezeichnung	PM-D DC24V

Slave (73), Steckplatz 2

Bestell-Nr	3RK1 301-xxB00-0AA2
Kurzbezeichnung	DS1-x
Bezeichnung	DS1-x
E-Adresse	6.0...6.3
A-Adresse	6.0...6.3

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen zitiert wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Mittweida, den 20-12-2013

Hendrik Hertel